

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP2006/302092

International filing date: 07 February 2006 (07.02.2006)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2005-031824
Filing date: 08 February 2005 (08.02.2005)

Date of receipt at the International Bureau: 22 March 2006 (22.03.2006)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2005年 2月 8日

出願番号
Application Number: 特願2005-031824

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

J P 2005-031824

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

2006年 3月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

中嶋



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH166593
【提出日】 平成17年 2月 8日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G10L
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 澤田 宏
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 向井 良
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 荒木 章子
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 牧野 昭二
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100066153
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 草野 卓
【選任した代理人】
 【識別番号】 100100642
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 稲垣 稔
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 002897
 【納付金額】 16,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9806848

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

複数の信号源から発せられた信号が混合された混合信号を該信号に分離する信号分離装置であって、

前記混合信号を周波数領域の信号に変換する周波数領域変換手段と、

前記周波数領域の信号を用いて、周波数毎に第 1 の分離行列を算出する分離行列算出手段と、

前記第 1 の分離行列の一般化逆行列を算出する逆行列算出手段と、

前記一般化逆行列を構成する基底ベクトルの正規化を行い、正規化基底ベクトルを算出する基底ベクトル正規化手段と、

前記正規化基底ベクトルをクラスタリングし、クラスタを生成するクラスタ生成手段と、

前記クラスタの中心ベクトルと前記正規化基底ベクトルとを用い、前記第 1 の分離行列の要素を並び替えるための順列を算出する順列算出手段と、

を有することを特徴とする信号分離装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の信号分離装置であって、

前記基底ベクトル正規化手段が、

前記基底ベクトルを周波数に依存しない周波数正規化ベクトルに正規化する周波数正規化手段と、

前記周波数正規化ベクトルをノルムが規定値をとる前記正規化基底ベクトルに正規化するノルム正規化手段と、

を有することを特徴とする信号分離装置。

【請求項 3】

請求項 2 記載の信号分離装置であって、

前記周波数正規化手段が、

前記基底ベクトル $A_p(l)$ ($p = 1, \dots, N$ 、 N は前記信号源の数) の各要素 $A_{qp}(l)$ ($q = 1, \dots, M$ 、 M は前記混合信号を観測するセンサの数) に対し、 \arg を偏角とし、 f を周波数とし、 j を虚数単位とし、 c を信号の伝達速度とし、 Q を M 以下の自然数から選択された基準値とし、 d を実数とした場合における、

【数 1】

$$|A_{qp}(f)| \exp \left[j \frac{\arg[A_{qp}(f)/A_{Qp}(f)]}{4fc^{-1}d} \right]$$

の演算を行い、当該演算結果を前記周波数正規化ベクトル $A_p'(l)$ の各要素 $A_{qp}'(l)$ とする手段である、

ことを特徴とする信号分離装置。

【請求項 4】

請求項 3 記載の信号分離装置であって、

前記 d が、

前記要素 $A_{qp}(l)$ に対応する基準センサと他のセンサとの最大距離 d_{max} である、

ことを特徴とする信号分離装置。

【請求項 5】

複数の信号源から発せられた信号が混合された混合信号を該信号に分離する信号分離装置であって、

前記混合信号を周波数領域の信号に変換する周波数領域変換手段と、

前記周波数領域の信号を用いて、周波数毎に第 1 の分離行列を算出する分離行列算出手段と、

前記第 1 の分離行列の一般化逆行列を算出する逆行列算出手段と、

前記一般化逆行列を構成する基底ベクトルの正規化を行い、正規化基底ベクトルを算出する基底ベクトル正規化手段と、

前記正規化基底ベクトルをクラスタリングし、クラスタを生成するクラスタ生成手段と

前記周波数領域の信号と前記第1の分離行列或いはその行を並び替えた分離行列とから求めた分離信号のエンベロープと、前記クラスタの中心ベクトルと、前記正規化基底ベクトルとを用い、前記第1の分離行列の要素を並び替えるための順列を算出する順列算出手段と、

を有することを特徴とする信号分離装置。

【請求項6】

複数の信号源から発せられた信号が混合された混合信号を該信号に分離する信号分離方法であって、

周波数領域変換手段において、入力された前記混合信号を周波数領域の信号に変換して出力する過程と、

分離行列算出手段において、入力された前記周波数領域の信号を用い、周波数毎に第1の分離行列を算出して出力する過程と、

逆行列算出手段において、入力された前記第1の分離行列の一般化逆行列を算出して出力する過程と、

基底ベクトル正規化手段において、入力された前記一般化逆行列を構成する基底ベクトルの正規化を行い、正規化基底ベクトルを算出して出力する過程と、

クラスタ生成手段において、入力された前記正規化基底ベクトルをクラスタリングし、クラスタを生成して出力する過程と、

順列算出手段において、入力された前記クラスタの中心ベクトルと前記正規化基底ベクトルとを用い、前記第1の分離行列の要素を並び替えるための順列を算出して出力する過程と、

を有することを特徴とする信号分離方法。

【請求項7】

請求項1から5の何れかに記載の信号分離装置としてコンピュータを機能させるための信号分離プログラム。

【請求項8】

請求項7記載の信号分離プログラムを格納したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 信号分離装置、信号分離方法、信号分離プログラム及び記録媒体

【技術分野】

【0001】

本発明は、信号処理の技術分野に属し、特に複数の信号が空間内で混合されたものから、源信号をできるだけ正確に復元する信号分離の技術に関する。

【背景技術】

【0002】

【ブラインド信号分離】

複数の源信号が混在した混合信号から、源信号を推定して分離する信号分離技術としてブラインド信号分離がある。

まず、このブラインド信号分離の定式化を行う。すべての信号はあるサンプリング周波数 f_s でサンプリングされ、離散的に表現されるものとする。また、 N 個の信号が混合されて M 個のセンサで観測されたとする。以下では、信号の発生源からセンサまでの距離により信号が減衰・遅延し、また壁などにより信号が反射して伝送路の歪みが発生しうる状況を扱う。このような状況での混合は、信号源 k からセンサ q へのインパルス応答 $h_{qk}(r)$ による畳み込み混合

【0003】

【数2】

$$x_q(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{r=0}^{\infty} h_{qk}(r) s_k(t-r) \quad \dots(1)$$

となる。ここで t はサンプリング時刻を示している。また、 $s_k(t)$ はサンプリング時刻 t において信号源から発せられる源信号を示しており、 $x_q(t)$ はそのセンサ q での観測信号を示している。

一般的なインパルス応答 $h_{qk}(r)$ は、適当な時間経過後にパルス的な強い応答を持ち、時間と共に減衰していく。ブラインド信号分離の目的は、源信号 $s_1(t), \dots, s_N(t)$ やインパルス応答 $h_{11}(r), \dots, h_{1N}(r), \dots, h_{M1}(r), \dots, h_{MN}(r)$ を知らずに、観測信号 $x_1(t), \dots, x_M(t)$ のみから、源信号 $s_1(t), \dots, s_N(t)$ にそれぞれ対応する分離信号 $y_1(t), \dots, y_N(t)$ を求めることにある。

【0004】

【周波数領域】

次に、従来のブラインド信号分離の手順について説明する。

ここでは周波数領域において分離の操作を行う。そのためにセンサ q での観測信号 $x_q(t)$ に L 点の短時間離散フーリエ変換を適用し、周波数ごとの時間系列

【0005】

【数3】

$$X_q(f, \tau) = \sum_{r=-L/2}^{(L/2)-1} x_q(\tau+r) g(r) e^{-j2\pi f r} \quad \dots(2)$$

を求める。ここで f は周波数であり $f=0, f_s/L, \dots, f_s(L-1)/L$ と離散化されている (f_s はサンプリング周波数)。また、 τ は時間である。さらに $g(r)$ は窓関数である。ハニング窓

【0006】

【数4】

$$g(r) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi r}{L} \right)$$

などの $g(0)$ にパワーの中心を持つ窓関数を用いることで、 $X_q(l, \tau)$ は時刻 $t=\tau$ を中心とする観測信号 $x_q(t)$ の周波数特性を表現する。なお、 $X_q(l, \tau)$ は L サンプルにわたる情報を含んでいるため、すべての時刻 τ に対して $X_q(l, \tau)$ を求める必要はなく、適当な間隔の時

刻 τ ごとに $X_q(l, \tau)$ を求める。

周波数領域で処理を行うと、式 (1) で示される時間領域での畳み込み混合が、

【0007】

【数5】

$$X_q(f, \tau) = \sum_{k=1}^N H_{qk}(f) S_k(f, \tau) \quad \cdots (3)$$

と各周波数での単純混合に近似表現でき、分離の操作が単純になる。ここで、 $H_{qk}(l)$ は源信号 k からセンサ q までの周波数応答であり、 $S_k(l, \tau)$ は式 (2) と同様な式に従って源信号 $s_k(l)$ に短時間離散フーリエ変換を施したものである。式 (3) をベクトルを用いて表記すると、

【0008】

【数6】

$$X(f, \tau) = \sum_{k=1}^N H_k(f) S_k(f, \tau) \quad \cdots (4)$$

となる。ここで、 $X(l, \tau) = [X_1(l, \tau), \dots, X_M(l, \tau)]^T$ は観測信号ベクトル、 $H_k(l) = [H_{1k}(l), \dots, H_{Mk}(l)]^T$ は信号源 k から各センサへの周波数応答をまとめたベクトルである。なお、 $[*]^T$ は $[*]$ の転置ベクトルを示す。

【独立成分分析による信号分離】

次に、独立成分分析 (ICA: Independent Component Analysis) を用いて、周波数毎に信号分離を行う。ICA では観測信号ベクトル $X(l, \tau)$ のみから、 N 行 M 列の分離行列 $W(l)$ 及び分離信号ベクトル

$$Y(l, \tau) = W(l) X(l, \tau) \quad \cdots (5)$$

を算出する。ここで、分離行列 $W(l)$ は、分離信号ベクトル $Y(l, \tau) = [Y_1(l, \tau), \dots, Y_N(l, \tau)]^T$ の各要素 (分離信号) $Y_1(l, \tau), \dots, Y_N(l, \tau)$ が互いに独立になるように算出される。そのためのアルゴリズムは、非特許文献 1 に記載されているものなど、様々なものが紹介されている。

【0009】

また、分離行列 $W(l)$ のムーア・ペンローズ (Moore-Penrose) 型一般化逆行列 $W^+(l)$ ($M=N$ の場合は逆行列 $W^{-1}(l)$ に一致)

$$[A_1(l), \dots, A_N(l)] = W^+(l), \quad A_p(l) = [A_{1p}(l), \dots, A_{Mp}(l)]^T \quad \cdots (6)$$

を計算して式 (5) の両辺に掛け合わせると、観測信号ベクトル $X(l, \tau)$ の分解

【0010】

【数7】

$$X(f, \tau) = \sum_{p=1}^N A_p(f) Y_p(f, \tau) \quad \cdots (7)$$

を得る。 $A_p(l)$ は基底ベクトルと呼ばれるものであり、各周波数 f の分離信号 $Y_p(l, \tau)$ 毎に決まる。

【パーミュテーション問題】

ICA では信号の独立性に着目して分離を行うため、得られる分離信号 $Y_1(l, \tau), \dots, Y_N(l, \tau)$ には、順序の任意性がある。それらの順序が入れ替わっても独立性が保たれるからである。この任意性は、同じ源信号 $S_k(l, \tau)$ に対応する分離信号 $Y_p(l, \tau)$ がすべての周波数 f で同じ添字 p になるように解決されなければならない。これは、パーミュテーション (permutation) の問題と呼ばれ、周波数領域での信号分離において非常に重要な問題である。

【0011】

このパーミュテーション問題を解決する従来手法として、例えば非特許文献 2 に示されるものがある。この手法では、基底ベクトル $A_p(l) = [A_{1p}(l), \dots, A_{Mp}(l)]^T$ から二つの要素 $A_{qp}(l), A_{q'p}(l)$ を選択して、信号源の位置に関する情報 (方向と距離比) を推定する。こ

これらの方向や距離比は、選択された二つの要素 $A_{qp}(l)$, $A_{q'p}(l)$ に対応するセンサペア (q, q') の位置を基準として推定される。ここで、異なるセンサペアを選べば、推定値は異なるセンサペアの位置を基準とするものになる。また、複数のセンサペアでの推定値を統合することで、より詳細な位置情報が得られる。そして、これらの位置情報としての推定値をクラスタリングし、同じクラスタに属する推定値は同じ信号源に対応するものとみなしてパーミュテーション問題を解決する。

【非特許文献1】A. Hyvarinen and J. Karhunen and E. Oja, "Independent Component Analysis," John Wiley & Sons, 2001, ISBN 0-471-40540

【非特許文献2】R. Mukai, H. Sawada, S. Araki and S. Makino, "Frequency Domain Blind Source Separation using Small and Large Spacing Sensor Pairs," in Proc. of ISCAS 2004, vol. V, pp. 1-4, May 2004.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

しかし、上述した従来のパーミュテーション問題の解決手法では、正確にパーミュテーション問題を解決するために複雑な操作が必要となるという問題点があった。すなわち、この従来手法ではセンサペア毎に方向と距離比とが別々に推定される。従って、正確にパーミュテーション問題を解決するためには複数のセンサペアでの推定値を統合する必要がある。また、この推定値には誤差が含まれているが、より誤差が少ないと思われるセンサペアを優先的に用いたり、誤差をうまく吸収できるように統合方法を工夫したりする必要がある。

【0013】

また、上述した従来手法では、信号源の位置に関する情報を推定する必要性から、センサの位置情報をあらかじめ取得しておかなければならないという問題点があった。これはセンサを不規則に配置する場合に不利である。また、たとえセンサを規則的に配置するとしても、配置情報を厳密に知ることは困難であり、より正確なパーミュテーション問題の解決のためにはキャリブレーションなどの操作を必要とする。

本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、センサ配置に係る情報の事前取得や煩雑な操作を必要とせずに正確にパーミュテーション問題を解決できる技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明では上記課題を解決するために、まず、センサで観測された混合信号を周波数領域の信号に変換し、この周波数領域の信号を用いて周波数毎に第1の分離行列を算出する。次に、この第1の分離行列の一般化逆行列を算出し、この一般化逆行列を構成する基底ベクトルの正規化を行って正規化基底ベクトルを算出する。そして、この正規化基底ベクトルをクラスタリングしてクラスタを生成し、クラスタの中心ベクトルと正規化基底ベクトルとを用い、第1の分離行列の要素を並び替えるための順列を算出する。

ここで、本発明では、基本ベクトルそのものを正規化してクラスタリングし、パーミュテーション問題解決のための順列を算出する。そのため、このクラスタリングに際し、センサの位置情報をあらかじめ取得しておく必要がない。

【0015】

また、本発明では、正規化基底ベクトルのすべての要素を対象としてクラスタリングを行い、その結果からパーミュテーション問題解決のための順列を算出する。そのため、従来のように推定結果を統合するための操作を必要としない。

なお、本発明において好ましくは、基底ベクトルを周波数に依存しない周波数正規化ベクトルに正規化し、この周波数正規化ベクトルをノルムが規定値をとる正規化基底ベクトルに正規化する。以上の二段階の正規化によって生成された正規化基底ベクトルは、周波数に依存せず、信号源の位置のみに依存する。これにより各信号源に対応したクラスタの生成が可能となる。

【0016】

また、本発明において好ましくは、基底ベクトル $A_p(l)$ ($p=1, \dots, N$ 、 N は信号源の数)の各要素 $A_{qp}(l)$ ($q=1, \dots, M$ 、 M は混合信号を観測するセンサの数)に対し、 \arg を偏角とし、 f を周波数とし、 j を虚数単位とし、 c を信号の伝達速度とし、 Q を M 以下の自然数から選択された基準値とし、 d を実数とした場合における、

【0017】

【数8】

$$|A_{qp}(f)| \exp \left[j \frac{\arg[A_{qp}(f)/A_{Qp}(f)]}{4fc^{-1}d} \right] \dots (8)$$

の演算を行い、当該演算結果を周波数正規化ベクトル $A_p'(l)$ の各要素 $A_{qp}'(l)$ とする。これにより、周波数への依存性を排除できる。

さらに、本発明において好ましくは、式(8)の d は、要素 $A_{qp}(l)$ に対応する基準センサと他のセンサとの最大距離 d_{\max} である。これにより、周波数正規化ベクトルの各要素 $A_{qp}'(l')$ 、 $A_{q'p'}'(l')$ 間における $|\arg(A_{qp}'(l)) - \arg(A_{q'p'}'(l'))|$ の増加に対して $|A_{qp}'(l) - A_{q'p'}'(l')|$ も単調増加するという関係を維持しつつ、できるだけ広い範囲にクラスタを分散させることができる(詳細は後述)。その結果、クラスタリングの精度を一般的に向上させることができる。

【0018】

さらにまた、本発明において好ましくは、分離信号のエンベロープ(分離信号の絶対値の包絡線)とクラスタの中心ベクトルと正規化基底ベクトルとを用いて順列を算出する。これにより、より精度よくパーミュテーション問題を解決することができる。

【発明の効果】

【0019】

このように本発明では、センサ配置に係る情報の事前取得や煩雑な操作を必要とせずに正確にパーミュテーション問題を解決できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

〔第1の実施の形態〕

まず、本発明における第1の実施の形態について説明する。

＜ハードウェア構成＞

図1は、本形態における信号分離装置1のハードウェア構成を例示したブロック図である。

図1に例示するように、この例の信号分離装置1は、CPU(Central Processing Unit)10、入力部20、出力部30、補助記憶装置40、RAM(Random Access Memory)50、ROM(Read Only Memory)60及びバス70を有している。

【0021】

この例のCPU10は、制御部11、演算部12及びレジスタ13を有し、レジスタ13に読み込まれた各種プログラムに従って様々な演算処理を実行する。また、この例の入力部20は、データが入力される入力ポート、キーボード、マウス等であり、出力部30は、データを出力する出力ポート、ディスプレイ等である。補助記憶装置40は、例えば、ハードディスク、MO(Magneto-Optical disc)、半導体メモリ等であり、本形態の信号分離処理を実行するための信号分離プログラムを格納した信号分離プログラム領域41及びセンサで観測された時間領域の混合信号等の各種データが格納されるデータ領域42を有している。また、RAM50は、例えば、SRAM(Static Random Access Memory)、DRAM(Dynamic Random Access Memory)等であり、信号分離プログラムが書き込まれる信号分離プログラム領域51及び各種データが書き込まれるデータ領域52を有している。また、この例のバス70は、CPU10、入力部20、出力部30、補助記憶装置

40、RAM50及びROM60を通信可能に接続している。

【0022】

＜ハードウェアとソフトウェアとの協働＞

この例のCPU10は、読み込まれたOS（Operating System）プログラムに従い、補助記憶装置40の信号分離プログラム領域41に格納されている信号分離プログラムを、RAM50の信号分離プログラム領域51に書き込む。同様にCPU10は、補助記憶装置40のデータ領域42に格納されている時間領域の混合信号等の各種データをRAM50のデータ領域52に書き込む。さらに、CPU10は、この信号分離プログラムや各種データが書き込まれたRAM50上のアドレスをレジスタ13に格納する。そして、CPU10の制御部11は、レジスタ13に格納されたこれらのアドレスを順次読み出し、読み出したアドレスが示すRAM50上の領域からプログラムやデータを読み出し、そのプログラムが示す演算を演算部12に順次実行させ、その演算結果をレジスタ13に格納していく。

【0023】

図2は、このようにCPU10に信号分離プログラムが読み込まれることにより構成される信号分離装置1のブロック図の例示である。また、図3（a）は、図2におけるパーミュテーション問題解決部140の詳細を例示したブロック図であり、図3（b）は、図3（a）の基底ベクトル正規化部142の詳細を例示したブロック図である。

図2に例示するように、信号分離装置1は、メモリ100、周波数領域変換部120、分離行列算出部130、パーミュテーション問題解決部140、分離信号生成部150、時間領域変換部160及び制御部170を有している。また、この例のパーミュテーション問題解決部140は、逆行列算出部141、基底ベクトル正規化部142、クラスタ生成部143、順列算出部144及び並び替え部145を有しており、基底ベクトル正規化部142は、周波数正規化部142a及びノルム正規化部142bを有している。さらに、制御部170は一時メモリ171を有している。

【0024】

ここでメモリ100及び一時メモリ171は、レジスタ13、補助記憶装置40のデータ領域42或いはRAM50のデータ領域52等に相当する。また、周波数領域変換部120、分離行列算出部130、パーミュテーション問題解決部140、分離信号生成部150、時間領域変換部160及び制御部170は、CPU10にOSプログラムや信号分離プログラムが読み込まれることにより構成されるものである。

なお、図2及び図3における破線の矢印は理論上の情報の流れを示し、実線の矢印は実際のデータの流れを示す。また、これらの図において制御部170に出入りするデータの流れに対応する矢印は省略しており、図3における実際のデータの流れに対応する矢印も省略してある。

【0025】

＜処理＞

次に、本形態の信号分離装置1の処理について説明する。なお、以下では、N個の源信号が混合され、M個のセンサで観測された状況を取り扱う。また、前処理において、各センサで観測された時間領域の混合信号 $x_q(t)$ ($q=1, \dots, M$)がメモリ100の記憶領域101に格納され、信号の伝達速度 c 、M以下の自然数から選択された基準値 Q （M個のセンサから選択された1つの基準センサ Q の添字番号）及び実数 d の各パラメータが記憶領域107に格納されているものとする。

【0026】

図4は、本形態における信号分離装置1の処理の全体を説明するためのフローチャートである。以下、この図に沿って、本形態における信号分離装置1の処理を説明していく。

〔周波数領域変換部120の処理〕

まず、周波数領域変換部120において、メモリ100の記憶領域101から時間領域の混合信号 $x_q(t)$ を読み出し、これらを短時間離散フーリエ変換等によって周波数毎の時間系列の信号（「周波数領域の信号」と呼ぶ） $X_q(l, \tau)$ ($q=1, \dots, M$)に変換し、メモリ10

0の記憶領域102に格納する(ステップS1)。

【0027】

【分離行列算出部130の処理】

次に、分離行列算出部130において、メモリ100の記憶領域102から周波数領域の信号 $X_q(l, \tau)$ を読み出す。周波数領域の信号 $X_q(l, \tau)$ を読み出した分離行列算出部130は、これらからなる観測信号ベクトル $X(l, \tau) = [X_1(l, \tau), \dots, X_M(l, \tau)]^T$ を用い、独立成分分析(ICA)によって、周波数毎に第1の分離行列 $W(l)$ と分離信号ベクトル $Y(l, \tau) = [Y_1(l, \tau), \dots, Y_N(l, \tau)]^T$ とを算出する。そして、算出された第1の分離行列 $W(l)$ はメモリ100の記憶領域103に格納される(ステップS2)。

【0028】

ここで、分離行列算出部130において算出された第1の分離行列 $W(l)$ には、順序の任意性が含まれている。よって、以下のようにパーミュテーション問題解決部140において、第1の分離行列 $W(l)$ を順序の任意性を解決した第2の分離信号 $W'(l)$ に変更する。

【パーミュテーション問題解決部140の処理】

まず、逆行列算出部141において、メモリ100の記憶領域103から第1の分離行列 $W(l)$ を読み出し、そのムーア・ペンローズ(Moore-Penrose)型一般化逆行列 $W^+(l) = [A_1(l), \dots, A_N(l)]$ を計算し、これを構成する基底ベクトル $A_p(l)$ ($p=1, \dots, N$)をメモリ100の記憶領域104に格納する(ステップS3)。なお、 $M=N$ の場合、 $W^+(l)$ は逆行列 $W^{-1}(l)$ に一致する。

【0029】

次に、基底ベクトル正規化部142において、メモリ100の記憶領域104から基底ベクトル $A_p(l)$ ($p=1, \dots, N$, $l=0, l_s/L, \dots, l_s(L-1)/L$)を読み出し、これらを正規化した正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ を算出し、メモリ100の記憶領域106に格納する(ステップS4)。なお、基底ベクトル正規化部142は、全ての基底ベクトル $A_p(l)$ ($p=1, \dots, N$, $l=0, l_s/L, \dots, l_s(L-1)/L$)を正規化し、それらを周波数に依存せず、信号源の位置のみに依存する正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ に正規化する。その結果、それらをクラスタリングした際に、各クラスが各信号源に対応ようになる。この正規化を適切に行わないとクラスが形成されない。また、本形態における正規化は二段階からなる。第1の正規化は、周波数正規化部142a(図3(b))において、基底ベクトルを周波数に依存しない周波数正規化ベクトルに正規化するものである。第2の正規化は、ノルム正規化部142bにおいて、周波数正規化ベクトルをノルムが規定値(この例では1)をとる正規化基底ベクトルに正規化するものである。これらの正規化処理の詳細については後述する。

【0030】

次に、クラスタ生成部143において、メモリ100の記憶領域106から正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ を読み出し、これらの正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ をクラスタリングしてN個のクラスタ C_k ($k=1, \dots, N$)を生成し、各クラスタ C_k とそれらのセントロイド(中心ベクトル) η_k を特定する情報をメモリ100の記憶領域108, 109に格納する(ステップS5)。このクラスタリングは、例えば、各クラスタ C_k の要素(正規化基底ベクトル $A_v''(l)$)と各クラスタ C_k のセントロイド η_k との間の二乗和 U_k の総和 U

【0031】

【数9】

$$U = \sum_{k=1}^M U_k$$

$$U_k = \sum_{A_v''(f) \in C_k} \|A_v''(f) - \eta_k\|^2$$

を最小値化することを基準に行われる。この最小値化は、例えば、"R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, Pattern Classification, Wiley Interscience, 2nd edition, 2000."などで解説されているk-meansクラスタリングを用いることによって効果的に行うことができる。なお、クラスタ C_k のセントロイド η_k は、

【0032】

【数 1 0】

$$\eta_k = \frac{\sum_{A_v''(f) \in C_k} A_v''(f) / |C_k|}{\left\| \sum_{A_v''(f) \in C_k} A_v''(f) / |C_k| \right\|}$$

によって計算される。ここで $|C_k|$ はクラス C_k における要素（正規化基底ベクトル $A_v''(f)$ (1)）の数である。なお、正規化基底ベクトル $A_p''(f)$ (1) がクラス C_k を形成する理由については後述する。

次に、順列算出部 1 4 4 において、メモリ 1 0 0 の記憶領域 1 0 6 から正規化基底ベクトル $A_p''(f)$ (1) を、記憶領域 1 0 9 から各クラス C_k のセントロイド η_k をそれぞれ読み出す。そして、順列算出部 1 4 4 は、これらを用い、第 1 の分離行列 $W(f)$ の要素を並び替えるための順列 Π_f ($\{1, 2, \dots, N\}$ から $\{1, 2, \dots, N\}$ への全単射な関数) を周波数 f 毎に算出し、メモリ 1 0 0 の記憶領域 1 1 0 に格納する（ステップ S 6）。なお、この順列 Π_f は、

【0 0 3 3】

【数 1 1】

$$\Pi_f = \arg \min_{\Pi} \sum_{k=1}^N \left\| \eta_k - A_{\Pi(k)}''(f) \right\|^2 \quad \dots (9)$$

によって決定される。ここで式 (9) における $\arg \min_{\Pi} \cdot$ は、 \cdot を最小値化する Π を意味する。また、この式における $A_{\Pi(k)}''(f)$ (1) は、 Π によって正規化基底ベクトル $A_k''(f)$ (1) に並び替えられる正規化基底ベクトルを意味する。すなわち、 $\Pi(k)$ 行目の正規化基底ベクトル $A_{\Pi(k)}''(f)$ (1) は、 Π_f によって k 列目の正規化基底ベクトル $A_k''(f)$ (1) となる。なお、式 (9) に従って順列 Π_f を決定する手順としては、例えば、採り得るすべての Π_f に対して

【0 0 3 4】

【数 1 2】

$$\sum_{k=1}^N \left\| \eta_k - A_{\Pi(k)}''(f) \right\|^2$$

を算出し、その最小値に対応する Π_f を順列 Π_f として決定する手順を例示できる。また、その近似法として、 $k=1$ から $k=N$ まで順番に $\left\| \eta_k - A_{\Pi(k)}''(f) \right\|^2$ を最小値化する $A_{\Pi(k)}''(f)$ (1) を重複がないように選択していき、この選択された $A_{\Pi(k)}''(f)$ (1) を正規化基底ベクトル $A_k''(f)$ (1) に移す順列を順列 Π_f とする手順等を用いてもよい。

次に、並び替え部 1 4 5 において、メモリ 1 0 0 の記憶領域 1 0 3 から第 1 の分離行列 $W(f)$ を、記憶領域 1 1 0 から順列 Π_f を読み出す。そして、並び替え部 1 4 5 は、この第 1 の分離行列 $W(f)$ の行を順列 Π_f に従って並び替えた第 2 の分離行列 $W'(f)$ を生成してメモリ 1 0 0 の記憶領域 1 1 1 に格納する（ステップ S 7）。なお、第 1 の分離行列 $W(f)$ の行を順列 Π_f に従って並び替えるとは、上述のムーア・ベンローズ型一般化逆行列 $W^+(f)$ における要素 $A_{\Pi(k)}''(f)$ (1)（式 (6)）から $A_k''(f)$ (1) への並び替えに対応する並び替えを第 1 の分離行列 $W(f)$ に対して行うことを意味する。

【0 0 3 5】

【分離信号生成部 1 5 0 の処理】

その後、分離信号生成部 1 5 0 において、メモリ 1 0 0 の記憶領域 1 0 2 から周波数領域の信号 $X_q(f, \tau)$ を、記憶領域 1 1 1 から第 2 の分離行列 $W'(f)$ を読み出す。そして、分離信号生成部 1 5 0 は、周波数領域の信号 $X_q(f, \tau)$ からなる観測信号ベクトル $X(f, \tau) = [X_1(f, \tau), \dots, X_M(f, \tau)]^T$ と第 2 の分離行列 $W'(f)$ とを用い、

$$Y(f, \tau) = W'(f) \cdot X(f, \tau)$$

を算出し、これらの各要素である周波数領域の信号（「周波数領域の分離信号」と呼ぶ） $Y_p(f, \tau)$ をメモリ 1 0 0 の記憶領域 1 1 2 に格納する（ステップ S 8）。

【0 0 3 6】

【時間領域変換部 1 6 0 の処理】

最後に時間領域変換部160において、メモリ100の記憶領域112から周波数領域の分離信号 $Y_p(l, \tau)$ を読み出し、これを添え字 p 毎に($Y_p(l, \tau)$ 毎に)短時間逆フーリエ変換等によって時間領域の分離信号 $y_p(l)$ に変換し、これらの時間領域の分離信号 $y_p(l)$ をメモリ100の記憶領域113に格納する(ステップS9)。

【正規化処理の詳細(ステップS4の詳細)】

次に、前述した基底ベクトル正規化部142における正規化処理の詳細(ステップS4の詳細)について説明する。

【0037】

図5は、この正規化処理の詳細を説明するためのフローチャートである。

まず、制御部170(図2)においてパラメータ p に1を代入し、これを一時メモリ171に格納する(ステップS11)。また、制御部170においてパラメータ q に1を代入し、これを一時メモリ171に格納する(ステップS12)。次に、周波数正規化部142a(図3)において、メモリ100の記憶領域107から前述のパラメータ d, c, Q を読み出し、一時メモリ171からパラメータ p, q を読み出し、基底ベクトル $A_p(l)$ の要素 $A_{qp}(l)$ に対し、

【0038】

【数13】

$$A_{qp}'(f) = |A_{qp}(f)| \exp \left[j \frac{\arg[A_{qp}(f)/A_{Qp}(f)]}{4fc^{-1}d} \right] \quad \dots(10)$$

の演算を行い、当該演算結果 $A_{qp}'(l)$ を周波数正規化ベクトル $A_p'(l)$ の各要素 $A_{qp}'(l)$ としてメモリ100の記憶領域105に格納する(ステップS13)。なお、 \arg は偏角を意味し、 j は虚数単位を意味する。

次に、制御部170において、一時メモリ171に格納されたパラメータ q が $q=M$ を満たすか否かを判断する(ステップS14)。ここで $q=M$ でなければ、制御部170は、 $q+1$ の演算結果を新たなパラメータ q の値とし、これを一時メモリ171に格納し(ステップS15)、処理をステップS13へ戻す。一方、 $q=M$ であれば、制御部170は、さらに $p=N$ を満たすか否かを判断する(ステップS16)。

【0039】

ここで $p=N$ でなければ、制御部170において、 $p+1$ の演算結果を新たなパラメータ p の値とし、これを一時メモリ171に格納し(ステップS17)、処理をステップS12へ戻す。一方、 $p=N$ であれば、制御部170においてパラメータ p に1を代入し、これを一時メモリ171に格納し(ステップS18)、ノルム正規化部142bにおける処理を開始する。まず、ノルム正規化部142bにおいて、メモリ100の記憶領域105から周波数正規化ベクトル $A_p'(l)$ の各要素 $A_{qp}'(l)$ を読み出し、

【0040】

【数14】

$$\|A_p'(f)\| = \sqrt{\sum_{q=1}^M (A_{pq}'(f))^2}$$

の演算を行って、周波数正規化ベクトル $A_p'(l)$ のノルム $\|A_p'(l)\|$ を求め、周波数正規化ベクトル $A_p'(l)$ 及びそのノルム $\|A_p'(l)\|$ を一時メモリ171に格納する(ステップS19)。

次に、ノルム正規化部142bにおいて、一時メモリ171から周波数正規化ベクトル $A_p'(l)$ 及びそのノルム $\|A_p'(l)\|$ を読み出し、

$$A_p''(l) = A_p'(l) / \|A_p'(l)\| \quad \dots(11)$$

の演算を行って正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ を求め、これをメモリ100の記憶領域106に格納する(ステップS20)。

【0041】

その後、制御部170において、一時メモリ171に格納されたパラメータ p が $p = N$ を満たすか否かを判断する（ステップS21）。ここで $p = N$ でなければ、制御部170は、 $p + 1$ の演算結果を新たなパラメータ p の値とし、これを一時メモリ171に格納し（ステップS22）、ステップS19の処理に戻す。一方、 $p = N$ であれば、制御部170は、ステップS4の処理を終了させる。

このように生成された正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ は、周波数に依存せず、信号源の位置のみに依存するベクトルとなる。その結果、この正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ はクラスタを形成することになる。以下にこの理由を説明する。

【0042】

【正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ がクラスタを形成する理由】

まず、前述した式(1)に示される畳み込み混合モデルを直接波（近距離場）混合モデル

【0043】

【数15】

$$h_{qk}(f) = \frac{1}{d_{qk}} \exp[j2\pi f c^{-1}(d_{qk} - d_{Qk})] \quad \dots(12)$$

を用いて近似する。ここで、 d_{qk} は信号源 q とセンサ k との間の距離であり、また、減衰 $1/d_{qk}$ は、距離 d_{qk} によって決まり、遅延 $(d_{qk} - d_{Qk})/c$ は、基準値 Q に対応する基準センサ Q の位置で正規化された距離によって決まる。

また、独立信号分離（ICA）における順序の任意性とスケーリングの任意性を考慮すると、基底ベクトル $A_p(l)$ と式(4)における信号源 k から各センサへの周波数応答をまとめたベクトル $H_k(l)$ との間には、以下の関係が成り立つ。

【0044】

$$A_p(l) = \varepsilon_p \cdot H_k(l), \quad A_{qp}(l) = \varepsilon_p \cdot H_{qk}(l) \quad \dots(13)$$

ここで、 ε_p はスケーリングの任意性を表現する複素スカラー値であり、添え字 k と q が異なる可能性が順序の任意性を表現している。式(12)と(13)を式(10)と(11)に代入すると、

【0045】

【数16】

$$A_{qp}''(f) = \frac{1}{d_{qk} D} \exp\left[j \frac{\pi (d_{qk} - d_{Qk})}{2d}\right], \quad D = \sqrt{\sum_{i=1}^M \frac{1}{d_{ik}^2}} \quad \dots(14)$$

となる。この式から分かるように、正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ の各要素 $A_{qp}''(l)$ は、周波数 f からは独立であり、信号源 k とセンサ j の位置のみに依存する。従って、正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ をクラスタリングすると、同じ信号源にごとに対応するクラスタが形成される。

また、式(14)からパラメータ d の値は、 $d > d_{\max}/2$ であることが望ましく（ d_{\max} は要素 $A_{qp}(l)$ に対応する基準センサ Q と他のセンサとの最大距離 d_{\max} を意味する。）より好ましくは $d \geq d_{\max}$ であることが望ましく、さらにより好ましくは $d = d_{\max}$ であることが望ましいことが分かる。以下、この理由について説明する。

【0046】

図6及び図7は、パラメータ d 毎の正規化基底ベクトルの要素 $A_{qp}''(l)$ とその偏角 $\arg[A_{qp}''(l)]$ との関係を示すための複素平面図である。なお、これらにおける横軸は実軸を縦軸は虚軸を示している。

図6(a)は $d_{\max}/2 \geq d$ の場合における複素平面図である。ここで上述の d_{\max} の定義より、任意の q 及び k に対し $d_{qk} - d_{Qk}$ の絶対値は d_{\max} 以下となる。よって $d_{\max}/2 \geq d$ の場合、 $(\pi/2) \cdot (d_{qk} - d_{Qk})/d \leq -\pi$ 、 $(\pi/2) \cdot (d_{qk} - d_{Qk})/d \geq \pi$ と成り得る。その結果、式(14)で表される $A_{qp}''(l)$ の偏角 $\arg[A_{qp}''(l)]$ は、 360° を超える $\alpha_1 \leq \arg[A_{qp}''(l)]$

$\leq \alpha_2$ ($\alpha_1 \leq -180^\circ$ 、 $\alpha_2 \geq 180^\circ$) の範囲に分布する可能性がある。そのため、異なる正規化基底ベクトルの要素 $A_{qp}''(l)$ の偏角が一致する可能性があり、前述したクラスタリングにおいて、異なる正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ を同じクラスタにクラスタリングしてしまう可能性がある。よって、 $d > d_{\max}/2$ であることが望ましい。しかし、この偏角の重複範囲に対応する正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ のサンプルが存在しないならば $d_{\max}/2 \geq d$ としても問題はない。

【0047】

図6(b)は $d_{\max}/2 < d < d_{\max}$ の場合における複素平面図である。この場合、 $-\pi < (\pi/2) \cdot (d_{qk} - d_{Qk})/d < -\pi/2$ 、 $\pi/2 < (\pi/2) \cdot (d_{qk} - d_{Qk})/d < \pi$ と成り得る。その結果、式(14)で表される $A_{qp}''(l)$ の偏角 $\arg[A_{qp}''(l)]$ は、 $\beta_1 \leq \arg[A_{qp}''(l)] \leq \beta_2$ ($-180^\circ < \beta_1 < -90^\circ$ 、 $90^\circ < \beta_2 < 180^\circ$) の範囲に分布する可能性がある。そのため、 $-180^\circ < \arg[A_{qp}''(l)] < -90^\circ$ 及び $90^\circ < \arg[A_{qp}''(l)] < 180^\circ$ の範囲において、異なる周波数正規化ベクトル要素間の偏角の差の増加に伴い、これらの周波数正規化ベクトル要素間の距離が単調増加しないこともありうる。これは、前述したクラスタリングの精度を低下させる可能性がある。よって $d \geq d_{\max}$ であることがより望ましい。

【0048】

図7(a)は $d = d_{\max}$ の場合における複素平面図であり、図7(b)は $d > d_{\max}$ の場合における複素平面図である。ここで $d > d_{\max}$ の場合、 $-\pi/2 < (\pi/2) \cdot (d_{qk} - d_{Qk})/d < 0$ 、 $0 < (\pi/2) \cdot (d_{qk} - d_{Qk})/d < \pi/2$ と成り得る。その結果、式(14)で表される $A_{qp}''(l)$ の偏角 $\arg[A_{qp}''(l)]$ は、図7(b)に示すように、 $\gamma_1 \leq \arg[A_{qp}''(l)] \leq \gamma_2$ ($-90^\circ < \gamma_1 < 0^\circ$ 、 $0^\circ < \gamma_2 < 90^\circ$) の範囲に分布する。そして、 d が大きくなればなるほどその分布範囲は狭くなっていき、狭い範囲にクラスタが密集していく。これは、前述したクラスタリングの精度を低下させる。

【0049】

これに対し、 $d = d_{\max}$ である場合、 $-\pi/2 \leq (\pi/2) \cdot (d_{qk} - d_{Qk})/d < 0$ 、 $0 < (\pi/2) \cdot (d_{qk} - d_{Qk})/d \leq \pi/2$ と成り得る。その結果、式(14)で表される $A_{qp}''(l)$ の偏角 $\arg[A_{qp}''(l)]$ は図7(a)に示すように $-\pi/2 \leq \arg[A_{qp}''(l)] \leq \pi/2$ の範囲に分布する。この場合、周波数正規化ベクトルの要素間における偏角の差の増加に対して、それらの距離も単調増加するという関係を維持しつつ、できるだけ広い範囲にクラスタを分散させることができる。その結果、一般的にクラスタリングの精度を向上させることができる。

〔第2の実施の形態〕

次に本発明における第2の実施の形態について説明する。

【0050】

第1の実施の形態では、基底ベクトルから得られる情報によりパーミュテーション問題を解決したが、本形態では、これに特開2004-145172号公報や「H. Sawada, R. Mukai, S. Araki, S. Makino, "A Robust and Precise Method for Solving the Permutation Problem of Frequency-Domain Blind Source Separation," IEEE Trans. Speech and Audio processing, vol. 12, no. 5, pp. 530-538, Sep. 2004. (以下「参考文献」と呼ぶ)」で示されているような分離信号のエンベロープの情報を統合することで、より精度よくパーミュテーション問題を解決する。なお、これらの文献では、基底ベクトルの代わりに信号源の方向に関する情報が利用されている。

【0051】

以下では、第1の実施の形態との相違点を中心に説明を行い、これと共通する事項については説明を省略する。

＜構成＞

図8は、本形態における信号分離装置200のブロック図の例示である。なお、本形態の信号分離装置200もCPU10に信号分離プログラムが読み込まれることにより構成されるものである。また、図9(a)は、図8におけるパーミュテーション問題解決部240の詳細を例示したブロック図であり、図9(b)は、図9(a)の順列修正部247の詳細を例示したブロック図である。なお、図8及び図9において第1の実施の形態と共

通する部分については第1の実施の形態と同じ符号を付した。また、図8及び図9における破線の矢印は理論上の情報の流れを示し、実線の矢印は実際のデータの流れを示す。また、これらの図において制御部170に出入りするデータの流れに対応する矢印は省略しており、図9における実際のデータの流れに対応する矢印も省略してある。

【0052】

本形態の第1の実施の形態のとの相違点は、主にパーミュテーション問題解決部240の構成である。すなわち、本形態のパーミュテーション問題解決部240は、第1の実施の形態のパーミュテーション問題解決部140に、順列評価部246と順列修正部247とを付加したものとなっている（図8、図9（a））。なお、順列評価部246は、周波数毎に順列の信頼度を評価するものであり、順列修正部247は、順列の信頼度が低いと評価された周波数に対し、分離信号のエンベロープを用いて新たな順列を算出するものである。また、順列修正部247は、判定部247aと分離信号生成部247bとエンベロープ算出部247cと順列算出部247dと再並び替え部247eを有している（図9（b））。また、本形態では、順列算出部144と順列修正部247とによって「順列算出手段」を構成している。

【0053】

<処理>

図10は、本形態における信号分離装置200の処理の全体を説明するためのフローチャートである。以下、この図に沿って、本形態における信号分離装置200の処理を説明していく。

ステップS51からS57の処理は、第1の実施の形態におけるステップS1からS7までと同じであるため説明を省略する。本形態では、このステップS57の処理の後に、順列評価部246において、周波数毎に順列 Π_f の信頼度を評価し、順列 Π_f の信頼度が低いと評価された周波数に対し、分離信号のエンベロープを用いて順列 Π_f' を算出し、この周波数のみについて第2の分離行列 $W''(l)$ の行を順列 Π_f' に従って並び替えて第3の分離行列 $W'''(l)$ を生成し、メモリ100の記憶領域110に格納する（ステップS58）。なお、この処理の詳細については後述する。

【0054】

その後、分離信号生成部150において、メモリ100の記憶領域102から周波数領域の信号 $X_q(l, \tau)$ を、記憶領域111から第3の分離行列 $W'''(l)$ を読み出す。そして、分離信号生成部150は、周波数領域の信号 $X_q(l, \tau)$ からなる観測信号ベクトル $X(l, \tau) = [X_1(l, \tau), \dots, X_M(l, \tau)]^T$ と第3の分離行列 $W'''(l)$ とを用い、

$$\text{分離信号ベクトル } Y(l, \tau) = W'''(l) \cdot X(l, \tau)$$

を算出し、周波数領域の分離信号 $Y_p(l, \tau)$ をメモリ100の記憶領域112に格納する（ステップS59）。

【0055】

最後に時間領域変換部160において、メモリ100の記憶領域112から周波数領域の分離信号 $Y_p(l, \tau)$ を読み出し、これを添え字p毎に時間領域の分離信号 $y_p(l)$ に変換し、これらの時間領域の分離信号 $y_p(l)$ をメモリ100の記憶領域113に格納する（ステップS60）。

【ステップS58の処理の詳細】

図11及び図12は、図10におけるステップS58の例を説明するためのフローチャートである。以下、このフローチャートに沿ってステップS58の詳細を説明していく。

【0056】

まず、制御部170においてパラメータfに0を代入し、集合Fを空集合とし、これらを示す情報を一時メモリ171に格納する（ステップS71）。次に、順列評価部246において、メモリ100の記憶領域110に格納された順列 Π_f の信頼度を周波数毎に評価し、その評価結果 $\text{trust}(l)$ を一時メモリ171に格納する（ステップS72）。ここで、順列 Π_f の信頼性が高いとは、例えば、正規化基底ベクトル $A_p''(l)$ が、それぞれに対応するセントロイド η_k に十分近いということである。また、正規化基底ベクトル $A_p''(l)$

が、それぞれに対応するセントロイド η_k に十分近いかどうかは、例えば、正規化基底ベクトル $A_p''(i)$ とセントロイド η_k との距離がクラス C_k の分散 $U_k / |C_k|$ より小さいかどうか、すなわち、

$$U_k / |C_k| > \|c_k - A_{\Pi(k)}''(i)\|^2 \quad \dots (15)$$

により判定できる。よって、このステップでは、例えばまず、順列評価部 246 において、メモリ 100 の記憶領域 105 から正規化基底ベクトル $A_p''(i)$ を、記憶領域 109 からセントロイド η_p を、記憶領域 110 から順列 Π_f をそれぞれ読み出す。そして、順列評価部 246 は、周波数 f 毎に式 (15) を満たすか否かを判断し、満たす場合には $trust(i)=1$ を、満たさない場合には $trust(i)=0$ を出力し、一時メモリ 171 に格納する。

【0057】

次に、順列修正部 247 の判定部 247a が、一時メモリ 171 から周波数 f 毎に評価結果 $trust(i)$ を読み出し、 $trust(i)=1$ であるか否かを判断する (ステップ S73)。ここで、 $trust(i)=0$ である場合、そのままステップ S76 の処理に進み、 $trust(i)=1$ である場合、制御部 170 において集合 F と $\{f\}$ の和集合を新たな集合 F として一時メモリ 171 に格納し (ステップ S74)、再並び替え部 247e において、この周波数 f における第 2 の分離行列 $W'(i)$ を第 3 の分離行列 $W''(i)$ としてメモリ 100 の記憶領域 111 に格納し (ステップ S75)、ステップ S76 に進む。

【0058】

ステップ S76 では、制御部 170 において、一時メモリ 171 に格納されたパラメータ f の値が $f=(L-1)f_s/L$ を満たすか否かを判断し (ステップ S76)、これを満たさなければ $f+f_s/L$ の演算結果を新たなパラメータ f の値として (ステップ S77) 一時メモリ 171 に格納し、ステップ S72 に戻る。

一方、 $f=(L-1)f_s/L$ を満たす場合、分離信号生成部 247b において、集合 F に属しない周波数 f を 1 つ選択する。そして、分離信号生成部 247b は、この周波数 f とその近傍であって集合 F に属する全ての周波数 g ($g \in F, |g-f| \leq \delta$, δ は定数) とに対し、メモリ 100 の記憶領域 102 から周波数領域の信号 $X_p(f, \tau)$, $X_p(g, \tau)$ を読み出し、記憶領域 111 から第 2 の分離行列 $W'(i)$, $W'(g)$ を読み出し、

$$Y_p(f, \tau) = W'(i) \cdot X_p(f, \tau)$$

$$Y_p(g, \tau) = W'(g) \cdot X_p(g, \tau)$$

によって分離信号 $Y_p(f, \tau)$, $Y_p(g, \tau)$ を算出して一時メモリ 171 に格納する (ステップ S77)。

【0059】

次に、エンベロープ算出部 247c において、一時メモリ 171 から全ての周波数領域の分離信号 $Y_p(f, \tau)$, $Y_p(g, \tau)$ を読み出し、これらのエンベロープ

$$v_p^f(\tau) = |Y_p(f, \tau)|$$

$$v_p^g(\tau) = |Y_p(g, \tau)|$$

を算出して一時メモリ 171 に格納する (ステップ S78)。

そして、順列再算出部 247d において、周波数の差 δ 以下の近傍における相関 cor の和の最大値

【0060】

【数 17】

$$R_f = \max_{\Pi'} \sum_{|g-f| \leq \delta} \sum_{p=1}^N cor(v_{\Pi'(f,p)}^f, v_{\Pi'(g,p)}^g)$$

を算出して一時メモリに格納する (ステップ S79)。なお、この式における相関 $cor(\Phi, \Psi)$ は、2 つの信号 Φ , Ψ の相関を示し、以下のように定義される。

$$cor(\Phi, \Psi) = (\langle \Phi, \Psi \rangle - \langle \Phi \rangle \cdot \langle \Psi \rangle) / (\sigma_{\Phi} \cdot \sigma_{\Psi})$$

ただし、 $\langle \cdot \rangle$ は \cdot の時間平均であり、 σ_{Φ} は Φ の標準偏差である。また、式 (16) における $v_{\Pi'(f,p)}^f$ は、 Π' によってエンベロープ $v_p^f(\tau)$ に並び替えられるエンベロープを意味する。すなわち、 $\Pi'(f, p)$ 列目のエンベロープ $v_{\Pi'(f,p)}^f$ は、 Π' によって p 番目のエン

ベローブ $v_p^f(\tau)$ となる。

また、順列再算出部 2 4 7 d において、この相関 cor の和を最大化する順列

【0 0 6 1】

【数 1 8】

$$\Pi_f' = \arg \max_{\Pi'} \sum_{|g-f| \leq \delta} \sum_{p=1}^N \text{cor}(v_{\Pi'(f,p)}^f, v_{\Pi'(g,p)}^g) \quad \dots (16)$$

を算出してメモリ 1 0 0 の記憶領域 1 1 0 に格納する（ステップ S 8 0）。なお、式（16）における $\arg \max_{\Pi'} \nu$ は、 ν を最大化する Π' を意味する。

次に、制御部 1 7 0 において集合 F と $\{\xi\}$ ($\xi = \arg \max_j R_j$) の和集合を新たな集合 F として一時メモリ 1 7 1 に格納し（ステップ S 8 1）、再並び替え部 2 4 7 e において、 $f = \xi$ とし、第 2 の分離行列 $W''(f)$ の行を順列 Π_f' に従って並び替えた第 3 の分離行列 $W'''(f)$ を生成し、メモリ 1 0 0 の記憶領域 1 1 1 に格納する（ステップ S 8 2）。

次に、制御部 1 7 0 において、一時メモリ 1 7 1 に格納された集合 F が全ての離散化された周波数 $f=0, f_s/L, \dots, f_s(L-1)/L$ の要素を有するか否かを判断し（ステップ S 8 3）、集合 F が全ての離散化された周波数 $f=0, f_s/L, \dots, f_s(L-1)/L$ の要素を有しないのであればステップ S 7 7 の処理に戻し、有するのであればステップ S 5 8 の処理を終了する。

【0 0 6 2】

なお、以上の方法を用いず、前述した特開 2 0 0 4 - 1 4 5 1 7 2 号公報や「参考文献」に記載されたその他の方法を用い、ステップ S 5 8 の処理を実行してもよい。

<実験結果>

次に、上述した第 1 の実施の形態及び第 2 の実施の形態による音源分離実験結果を示す。

【実験結果 1】

1 つ目の実験は不規則なセンサ配置によるものである。実験条件は図 1 3 (a) に示す通りである。ここでは 4 つの無指向性マイクを不規則に配置したものを利用したが、これらの配置情報としては、マイク間隔の上限が 4 cm であるということだけを信号分離装置に与えた。音源の数は 3 つであり、3 秒間の英語の音声をスピーカから流した。結果を図 1 3 (b) に SIR (signal-to-interference ratio) で示す。大きい SIR は分離性能が良いことを示す。ここではパーミュテーション問題を解決する 4 種類の手法に関して結果を比較した。Env は分離信号のエンベローブ $|Y_p(f, \tau)|$ の情報のみを用いたもの、Basis は正規化基底ベクトル $A_p''(f)$ のクラスタリングによるもの（第 1 の実施の形態の手法）、Basis+Env はそれら 2 種類の情報を統合してより精度良く問題を解決したもの（第 2 の実施の形態の手法）、Optimal は源信号 s_k とインパルス応答 h_{qk} を知って得た最適な順列によるものである。

【0 0 6 3】

結果を考察すると、Env だけでは性能にはばらつきがあるが、第 1 の実施の形態の Basis はそれだけで十分な分離性能を得ている。また、双方を統合した第 2 の実施の形態の Basis+Env の結果はほぼ Optimal に近い。このように不規則なセンサ配置を用いた場合でも、本発明により、周波数領域でのブラインド信号分離が高性能で達成された。

【実験結果 2】

1 つ目の実験は規則的なセンサ配置によるものである。実験条件は図 1 4 (a) に示す通りである。3 つの無指向性マイクを直線状に 4 cm 間隔で配置した。音源の数は同様に 3 つであり、3 秒間の英語の音声をスピーカから流した。結果を図 1 4 (b) に示す。この実験では、従来技術として示した信号源の位置に関する推定値をクラスタリングする方法も比較対象とし、6 種類の手法に関して結果を比較した。DOA は信号の到来方向 (DOA: direction-of-arrival) の推定値のみでパーミュテーション問題を解決したもの、DOA+Env はさらに分離信号のエンベローブ情報を統合したものある。

【0 0 6 4】

従来技術であるDOA及びDOA+Envと、本発明であるBasis及びBasis+Envの結果を比較すると、従来手法が適用可能である規則的なセンサ配置に対しても、総じて本発明により結果が改善されていることがわかる。なお、演算量に関しては、従来技術とほぼ同等であった。

＜上述の実施の形態の特徴＞

以上より、上述した実施の形態の特徴をまとめると以下のようになる。

(1) センサの配置情報を知る必要がなく、ある基準センサから他のセンサへの距離の上限のみを知ればよい。不規則なセンサ配置を採用でき、さらに位置をキャリブレーションする必要が無い。(2) 基底ベクトルから得られる情報をすべて用いてクラスタリングを行うためパーミュテーション問題をより正確に解決することができ、信号分離の性能が向上する。

【0065】

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されるものではない。例えば、上述した各実施の形態では、一般化行列としてムーア・ペンローズ型一般化逆行列を用いたが他の一般化行列を利用する形態でもよい。また、上述の実施の形態では、ノルム正規化部142bにおいてノルムが1になるような正規化を行ったが、ノルムが1以外の規定値となるように正規化を行ってもよい。さらに、上記の第2の実施の形態では、周波数毎に順列の信頼度を評価し、順列の信頼度が低いと評価された周波数に対し、分離信号のエンベロープを用いて新たな順列を算出することとした。しかし、分離信号のエンベロープとクラスタの中心ベクトルと正規化基底ベクトルとを一度に統合して順列を算出することとしてもよい。また、まず分離信号のエンベロープを用いて順列を算出し、その順列の信頼度を周波数毎に評価し、信頼度が低いと評価された周波数に対して、第1の実施の形態の手法を適用して新たな順列を算出することとしてもよい。さらに、上記の第2の実施の形態では、第2の分離行列 $W'(i)$ を用いて分離信号のエンベロープを算出したが、第1の分離行列 $W(i)$ 或いはその行を並び替えた分離行列を用いてエンベロープを算出する構成としてもよい。

【0066】

さらに、上述の各実施の形態では、フーリエ変換及び逆フーリエ変換によって周波数領域と時間領域との間の変換を行うこととしたが、wavelet変換、DFTフィルタバンク、ポリフェイズフィルタバンクなどを用い、この変換を行うこととしてもよい（例えば、「R. E. Crochiere, L. R. Rabiner, "Multirate Digital Signal Processing," Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983 (ISBN 0-13-605162-6)）。また、上述の各種の処理は、記載に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的にあるいは個別に実行されてもよい。その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能であることはいうまでもない。

【0067】

また、上述の構成をコンピュータによって実現する場合、各装置が有すべき機能の処理内容はプログラムによって記述される。そして、このプログラムをコンピュータで実行することにより、上記処理機能がコンピュータ上で実現される。

この処理内容を記述したプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。コンピュータで読み取り可能な記録媒体としては、例えば、磁気記録装置、光ディスク、光磁気記録媒体、半導体メモリ等のようなものでもよいが、具体的には、例えば、磁気記録装置として、ハードディスク装置、フレキシブルディスク、磁気テープ等を、光ディスクとして、DVD (Digital Versatile Disc)、DVD-RAM (Random Access Memory)、CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory)、CD-R (Recordable) / RW (ReWritable) 等を、光磁気記録媒体として、MO (Magnetooptical disc) 等を、半導体メモリとしてEEPROM (Electrically Erasable and Programmable-Read Only Memory) 等を用いることができる。

【0068】

また、このプログラムの流通は、例えば、そのプログラムを記録したDVD、CD-ROM等の可搬型記録媒体を販売、譲渡、貸与等することによって行う。さらに、このプロ

グラムをサーバコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを介して、サーバコンピュータから他のコンピュータにそのプログラムを転送することにより、このプログラムを流通させる構成としてもよい。

また、上述した実施形態とは別の実行形態として、コンピュータが可搬型記録媒体から直接このプログラムを読み取り、そのプログラムに従った処理を実行することとしてもよく、さらに、このコンピュータにサーバコンピュータからプログラムが転送されるたびに、逐次、受け取ったプログラムに従った処理を実行することとしてもよい。また、サーバコンピュータから、このコンピュータへのプログラムの転送は行わず、その実行指示と結果取得のみによって処理機能を実現する、いわゆるASP (Application Service Provider) 型のサービスによって、上述の処理を実行する構成としてもよい。なお、本形態におけるプログラムには、電子計算機による処理の用に供する情報であってプログラムに準ずるもの (コンピュータに対する直接の指令ではないがコンピュータの処理を規定する性質を有するデータ等) を含むものとする。

【0069】

また、この形態では、コンピュータ上で所定のプログラムを実行させることにより、本装置を構成することとしたが、これらの処理内容の少なくとも一部をハードウェア的に実現することとしてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0070】

本技術により、様々な妨害信号が発生する実環境において、目的の信号を精度良く取り出すことが可能となる。音信号に対する応用例としては、例えば、音声認識器のフロントエンドとして動く音声分離システムなどが挙げられる。話者とマイクが離れた位置にあり、マイクが話者の音声以外を集音してしまうような状況でも、そのようなシステムを使うことで、話者の音声のみを取り出して正しく音声を認識することができる。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図1】 第1の実施の形態における信号分離装置のハードウェア構成を例示したブロック図。

【図2】 第1の実施の形態における信号分離装置のブロック図の例示。

【図3】 図3 (a) は、図2におけるパーミュテーション問題解決部の詳細を例示したブロック図、図3 (b) は、図3 (a) の基底ベクトル正規化部の詳細を例示したブロック図。

【図4】 第1の実施の形態における信号分離装置の処理の全体を説明するためのフローチャート。

【図5】 第1の実施の形態における正規化処理の詳細を説明するためのフローチャート。

【図6】 パラメータ d 毎の正規化基底ベクトルの要素 $A_{qp}''(l)$ とその偏角 $\arg[A_{qp}''(l)]$ との関係を示すための複素平面図。

【図7】 パラメータ d 毎の正規化基底ベクトルの要素 $A_{qp}''(l)$ とその偏角 $\arg[A_{qp}''(l)]$ との関係を示すための複素平面図。

【図8】 第2の実施の形態における信号分離装置のブロック図の例示。

【図9】 図9 (a) は、図8におけるパーミュテーション問題解決部の詳細を例示したブロック図、図9 (b) は、図9 (a) の順列修正部の詳細を例示したブロック図。

【図10】 信号分離装置の処理の全体を説明するためのフローチャート。

【図11】 図10におけるステップS58の例を説明するためのフローチャート。

【図12】 図10におけるステップS58の例を説明するためのフローチャート。

【図13】 図13 (a) は実験条件を示した図、図13 (b) は実験結果を示した図。

【図14】 図14 (a) は実験条件を示した図、図14 (b) は実験結果を示した図。

【符号の説明】

【0072】

1, 200 信号分離装置

【書類名】 図面

【図 1】

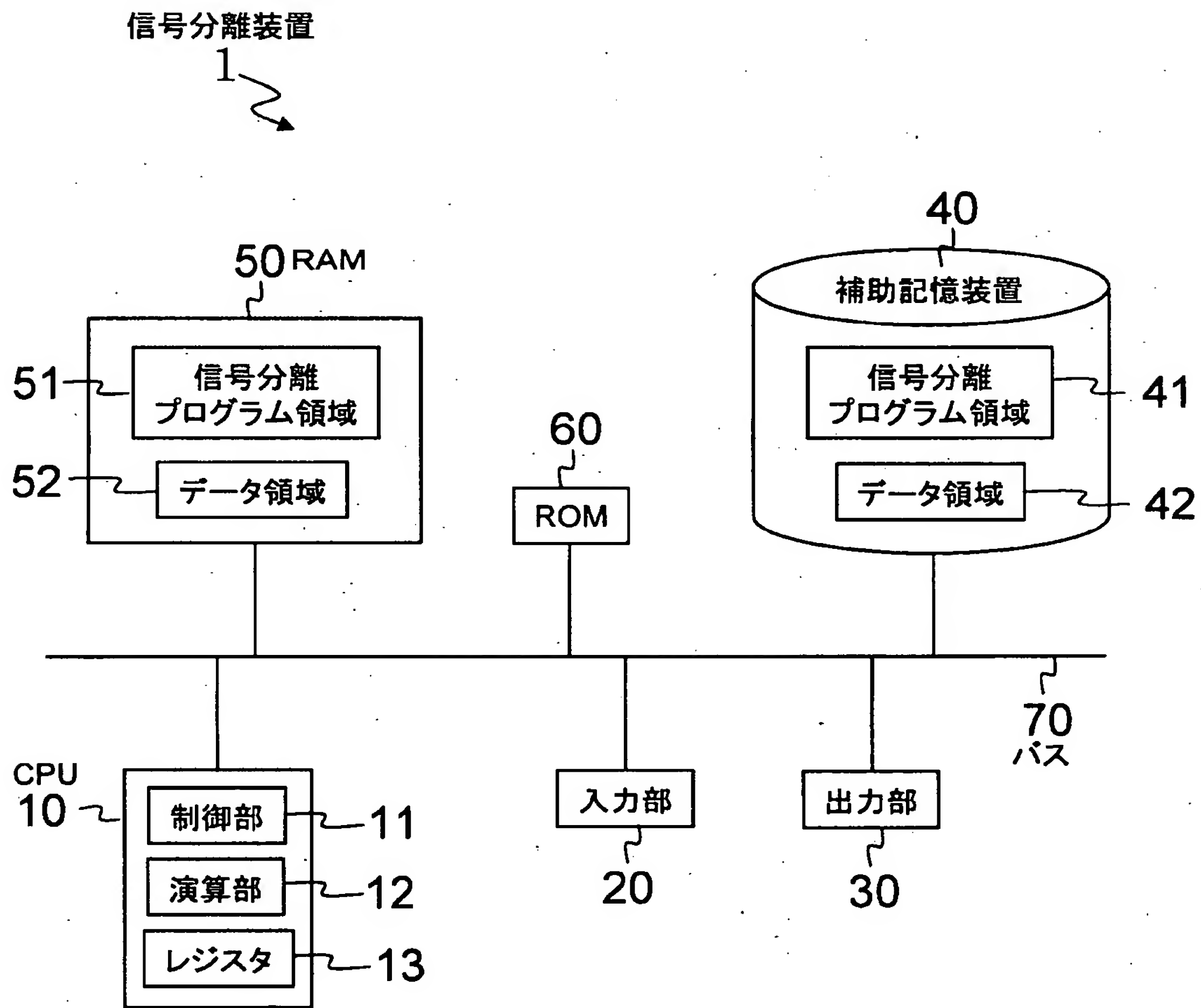


図 1

【図 2】

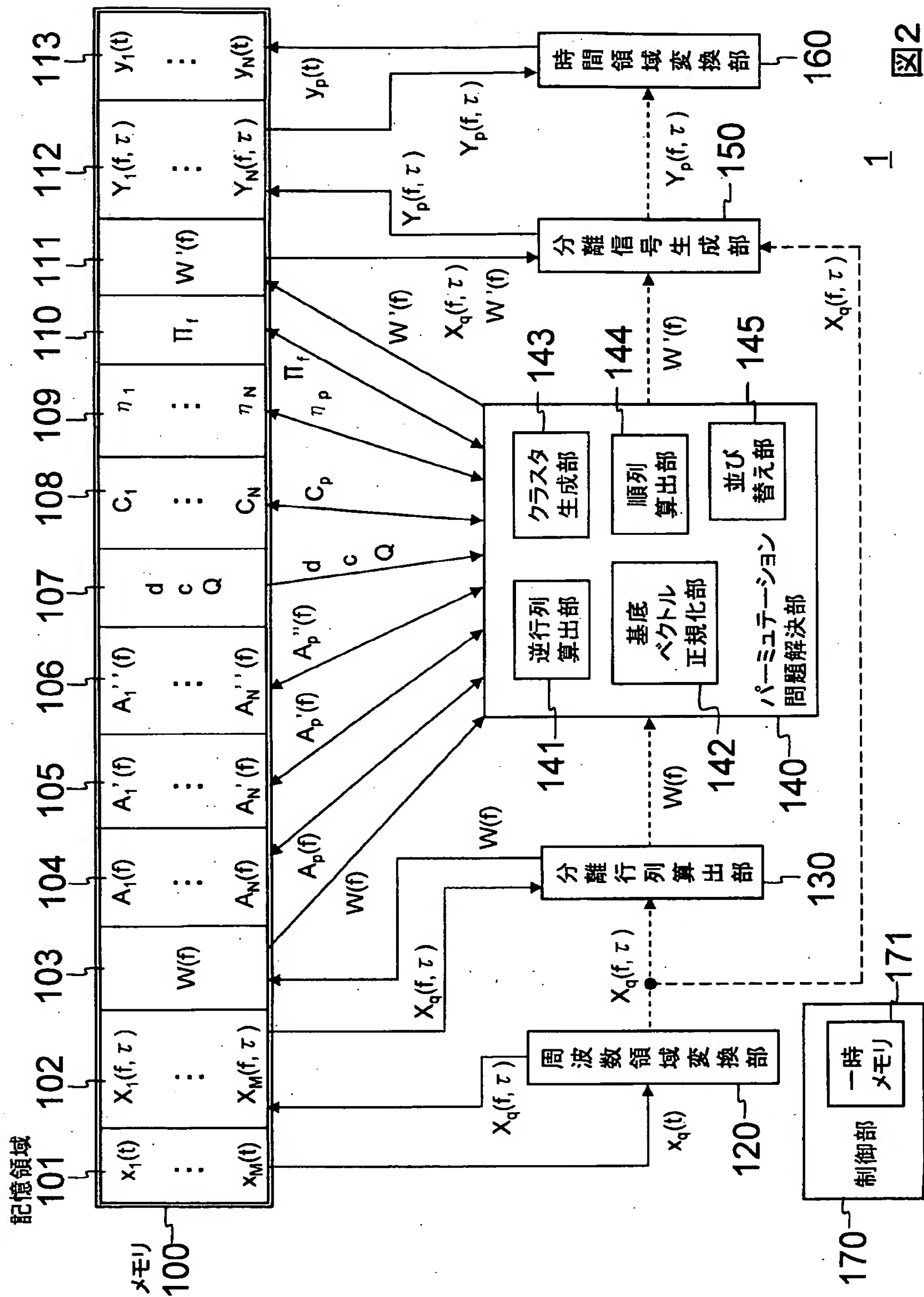
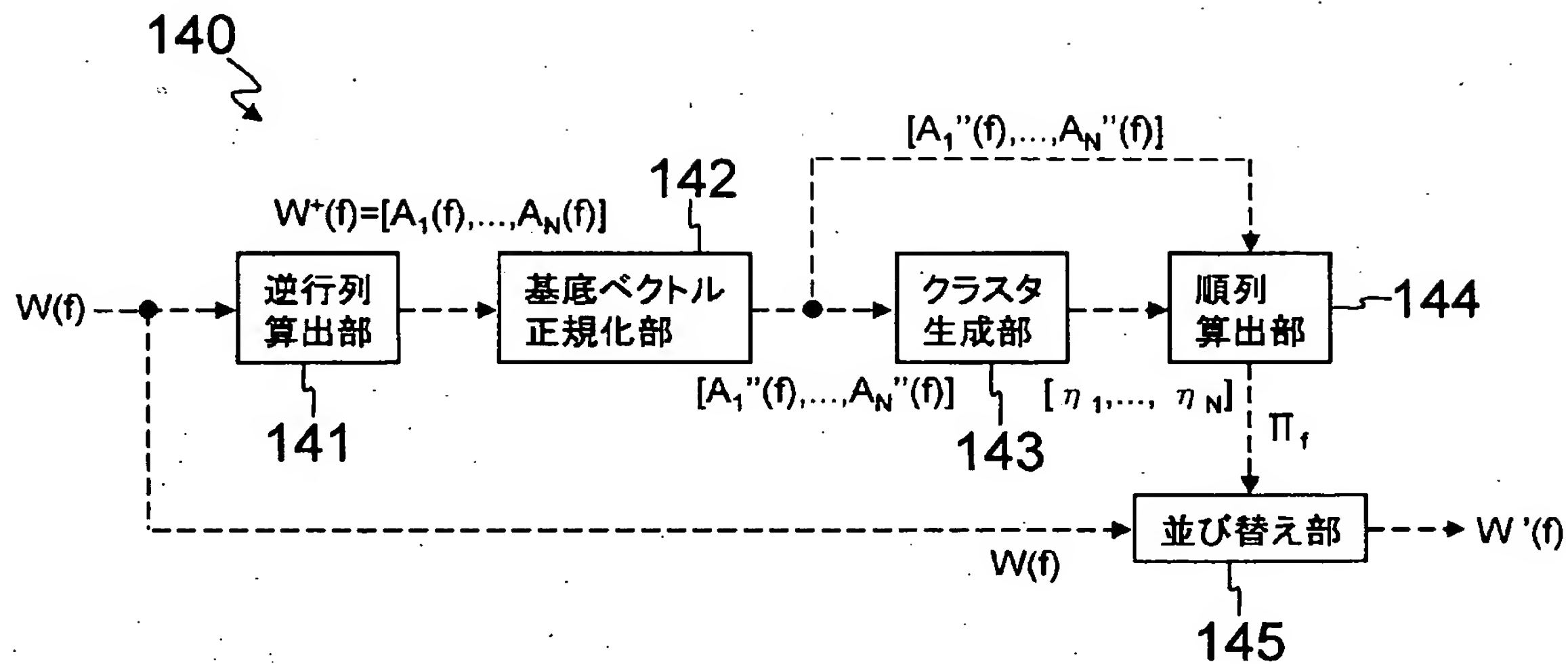


図2

【図3】

(a)



(b)

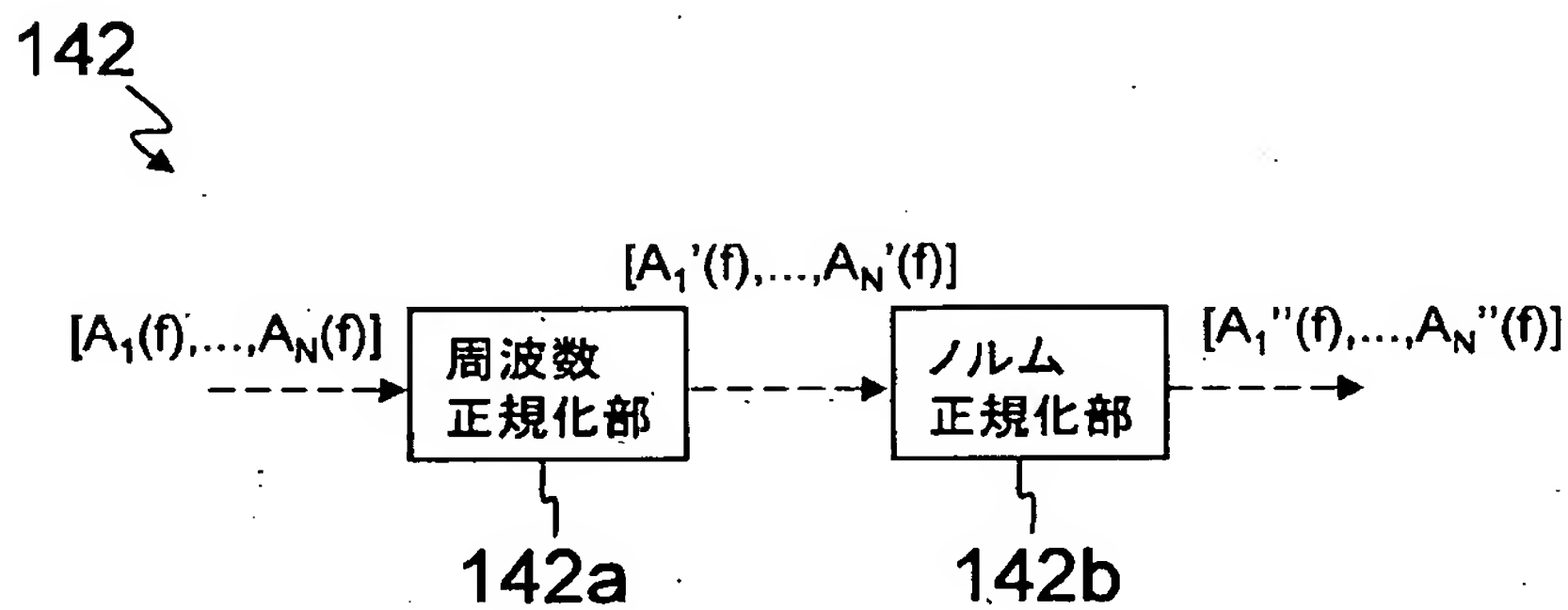


図3

【図 4】

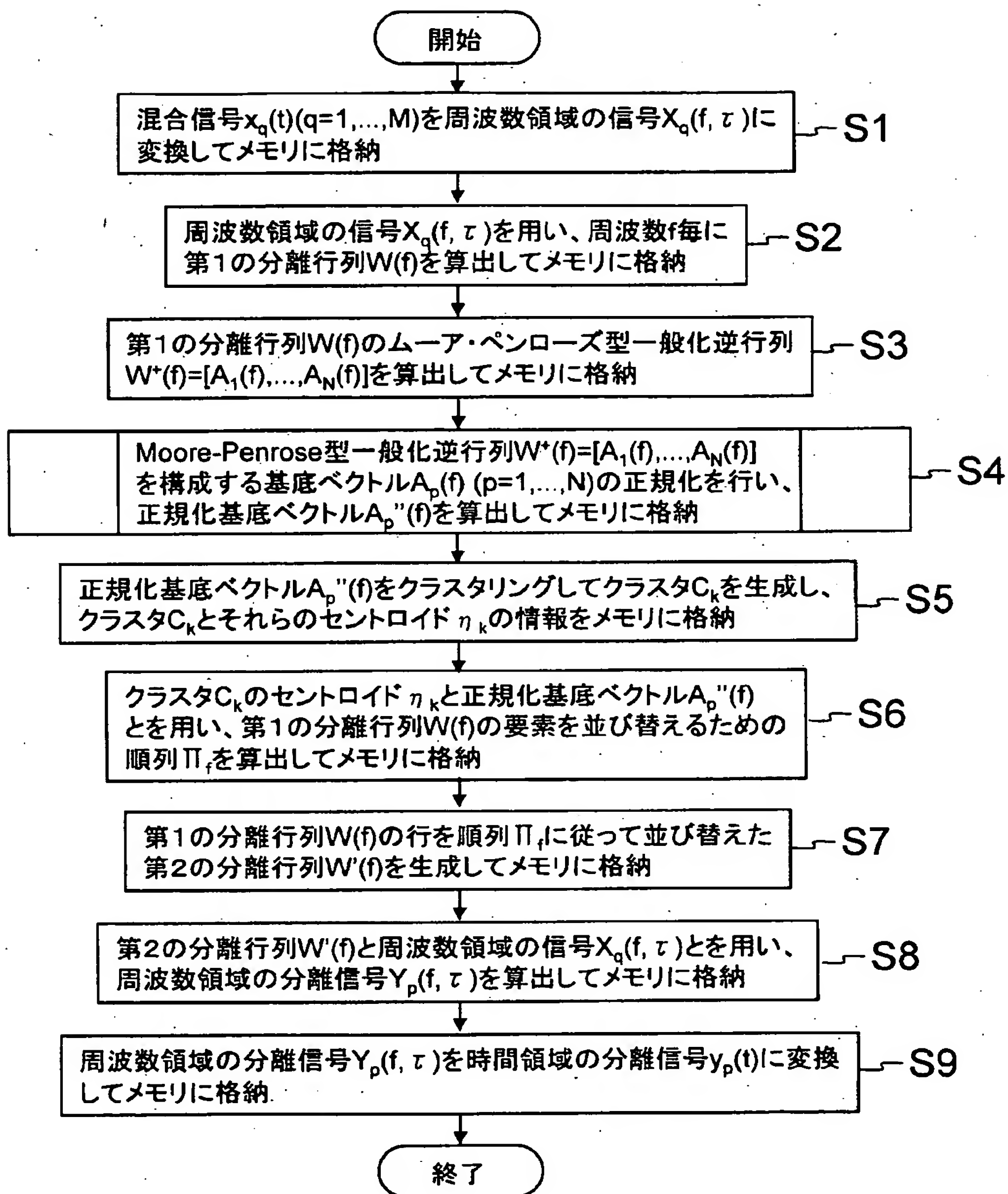


図4

【図5】

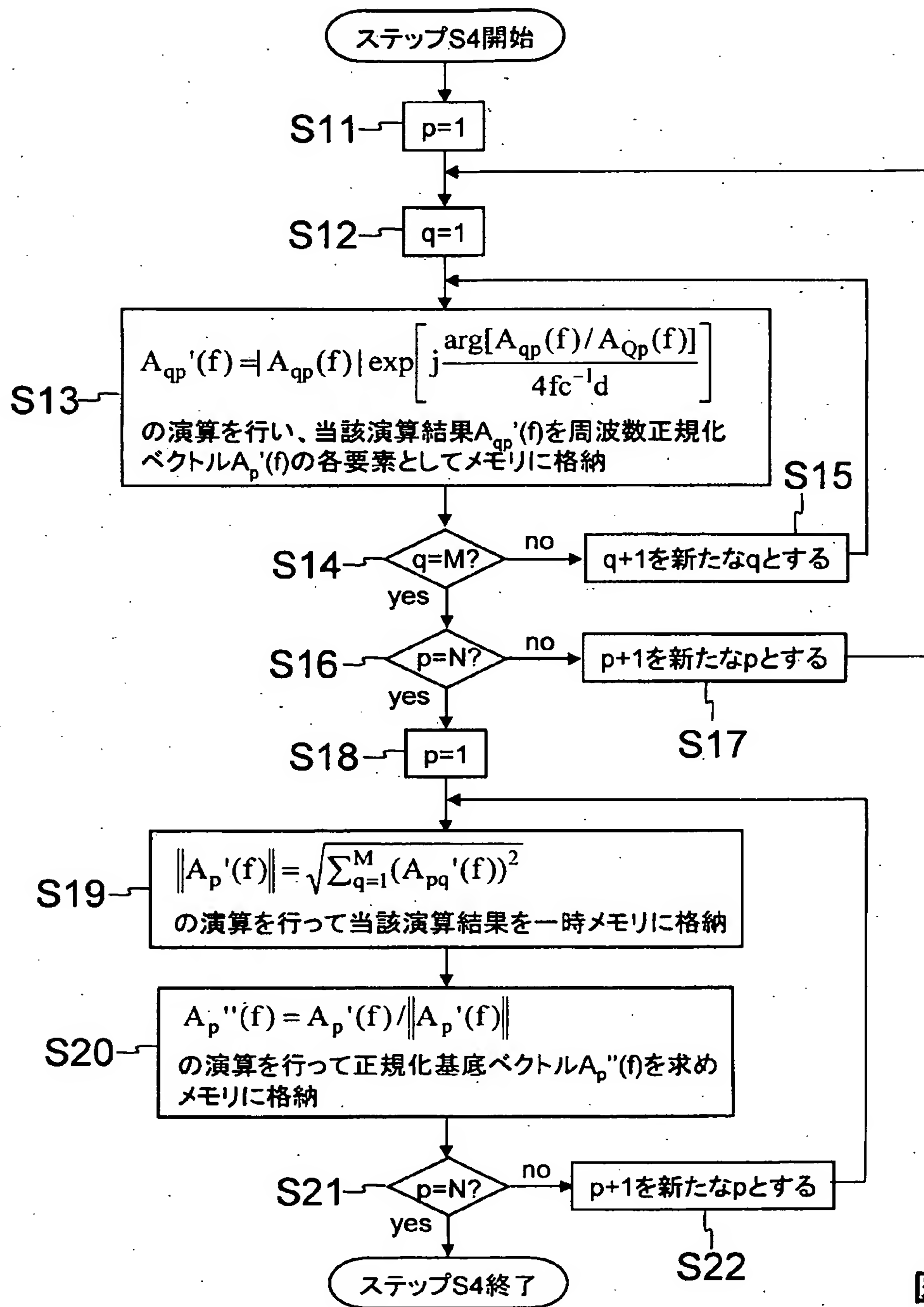
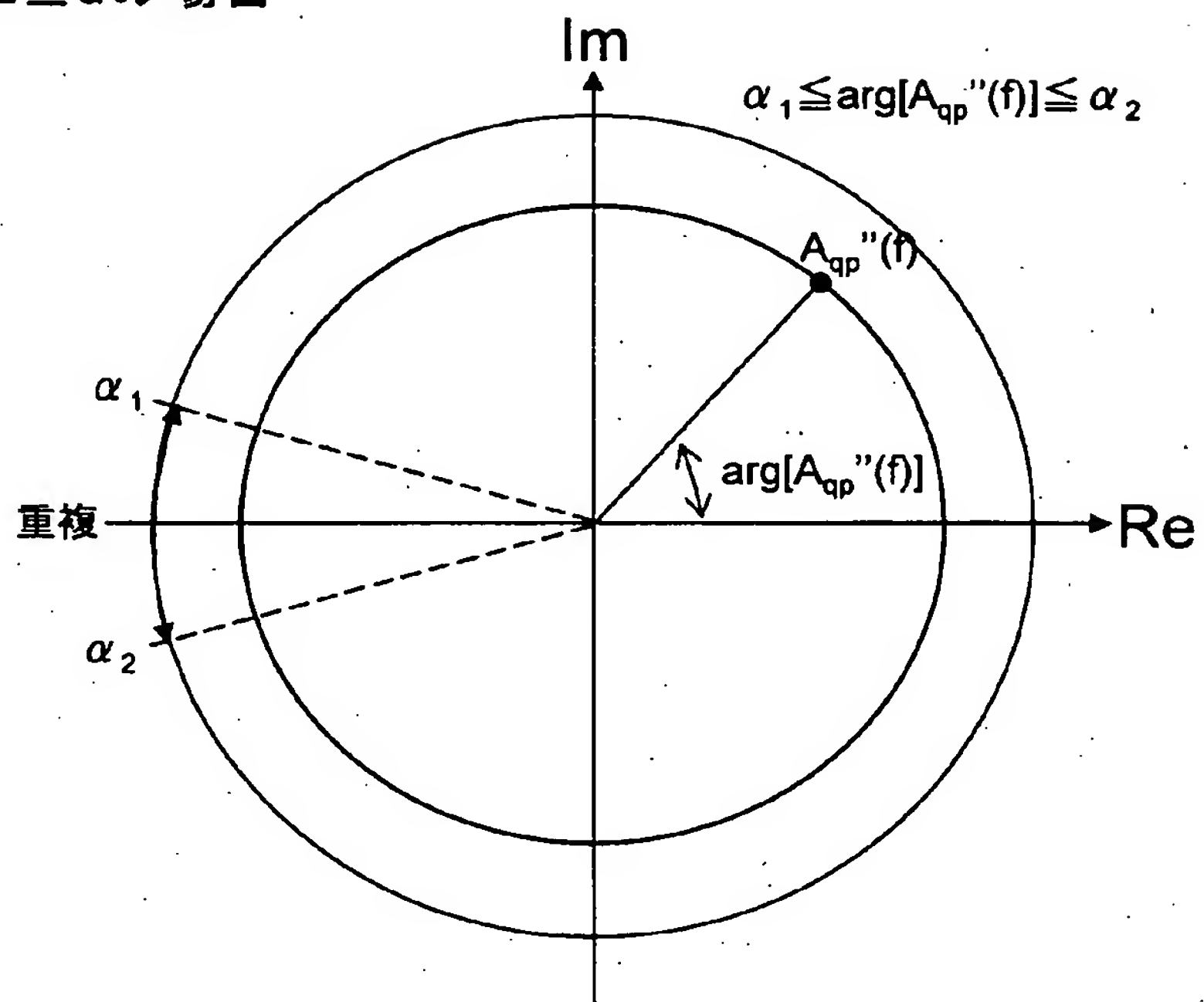


図5

【図 6】

(a) $d_{\max}/2 \geq d$ の場合



(b) $d_{\max}/2 < d < d_{\max}$ の場合

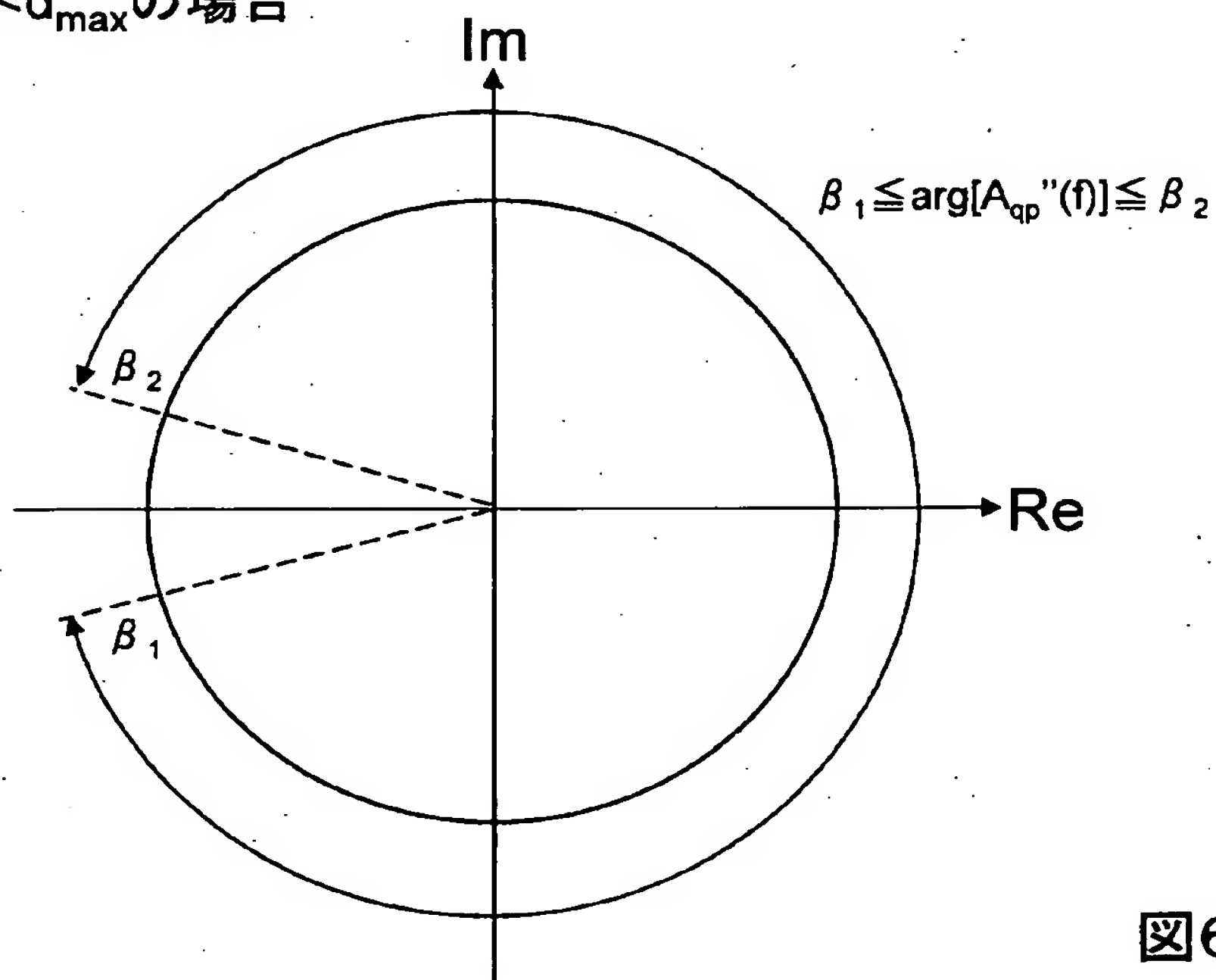
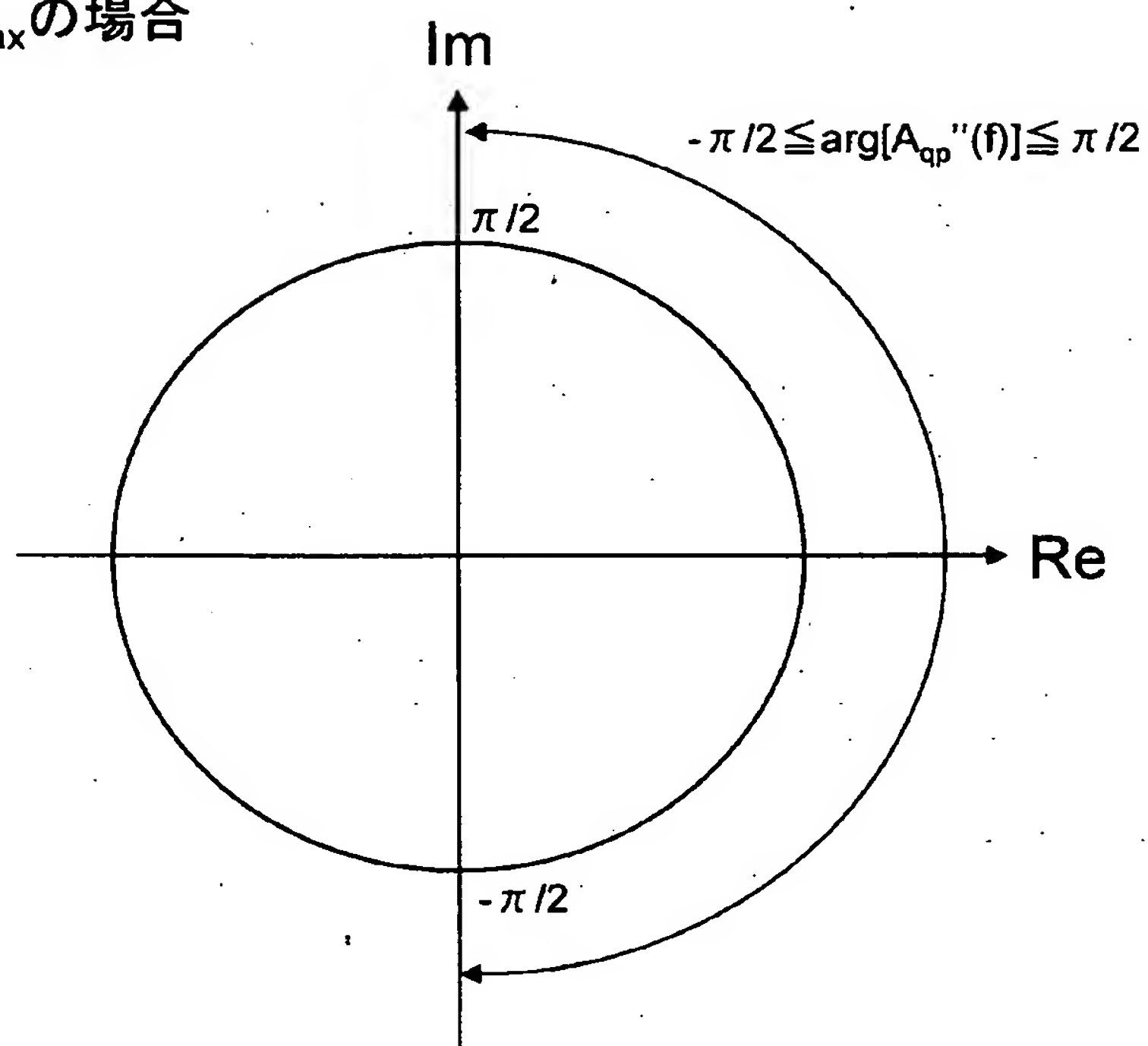


図6

【図 7】

(a) $d=d_{\max}$ の場合



(b) $d > d_{\max}$ の場合

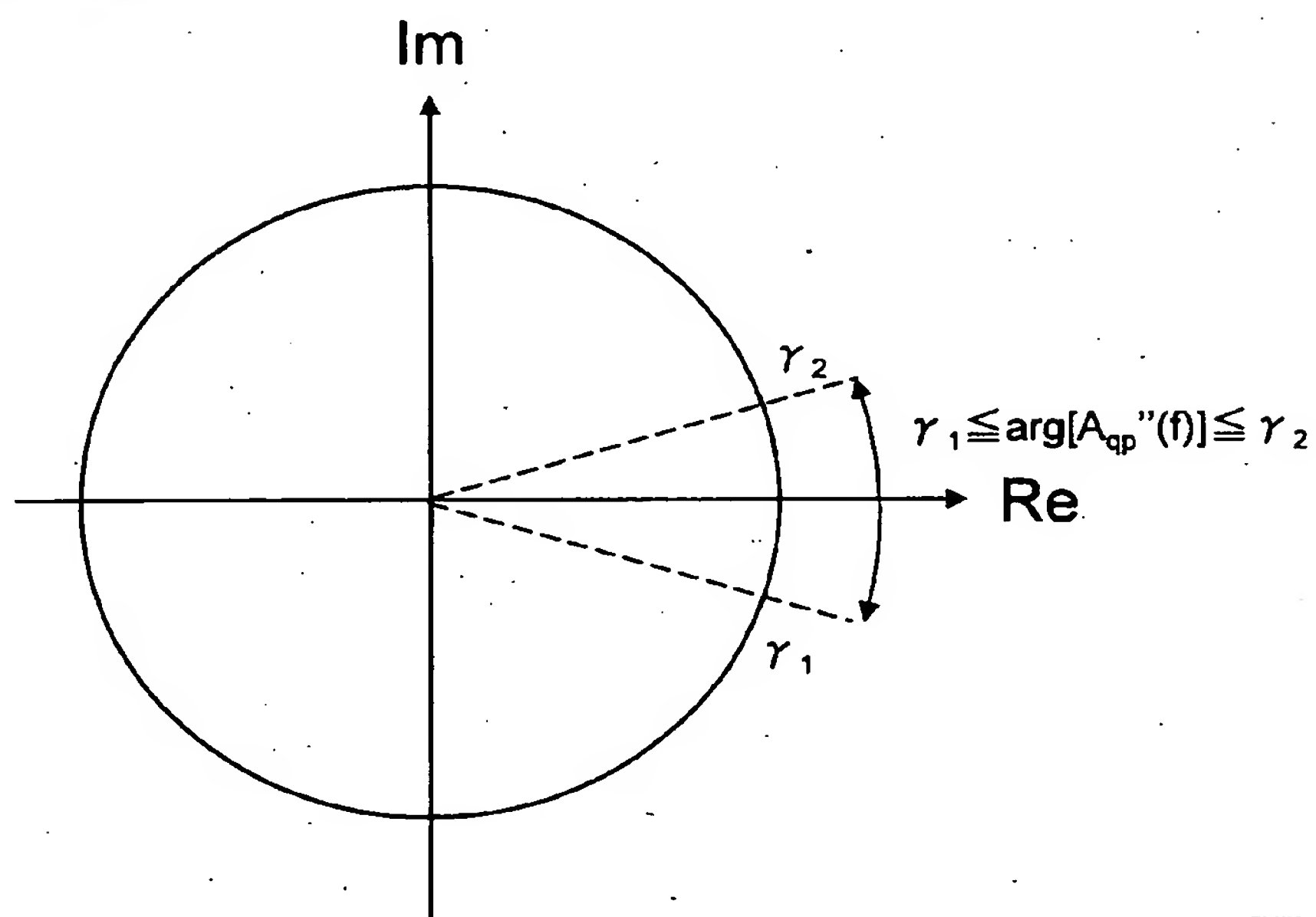


図 7

【図8】

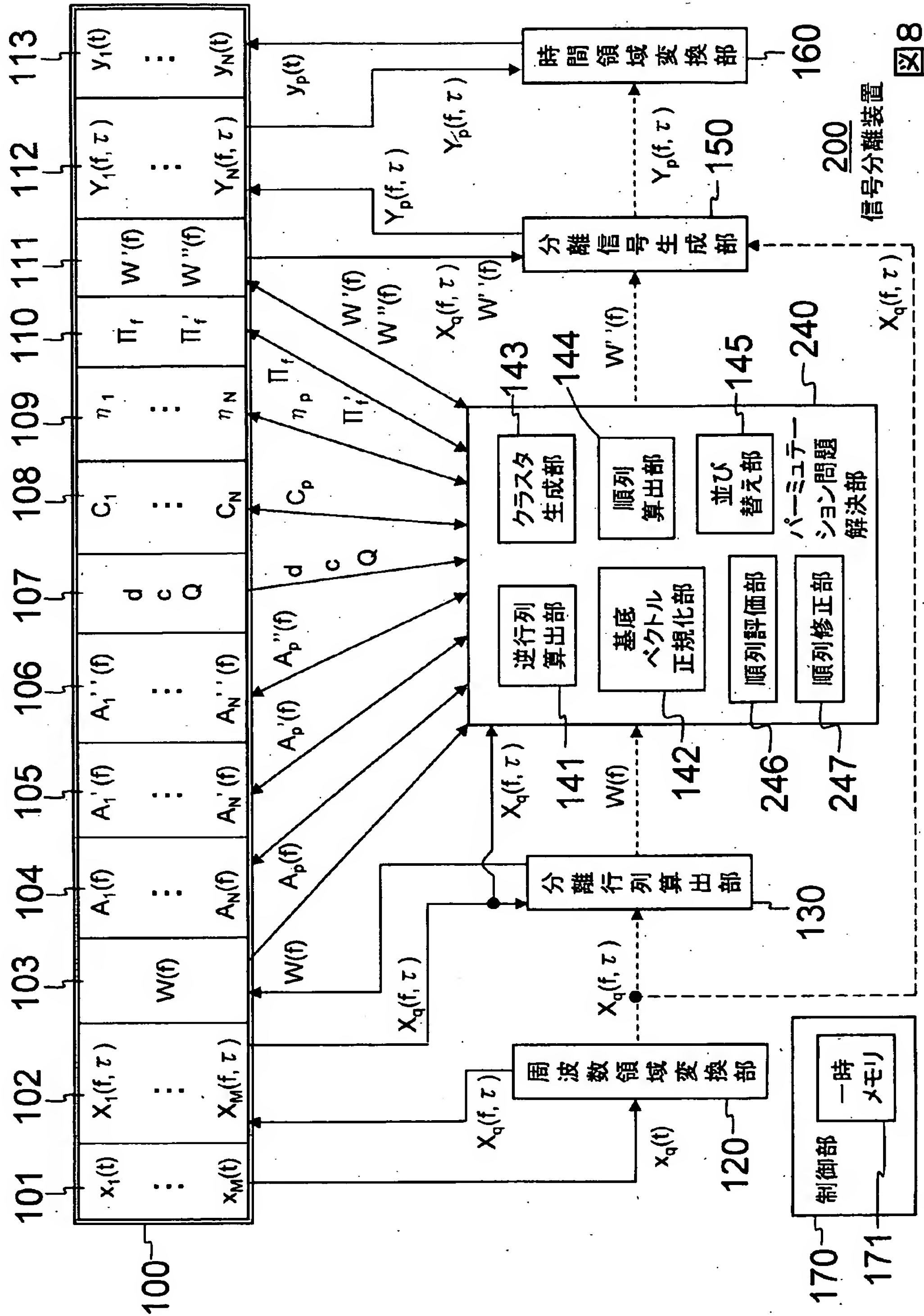
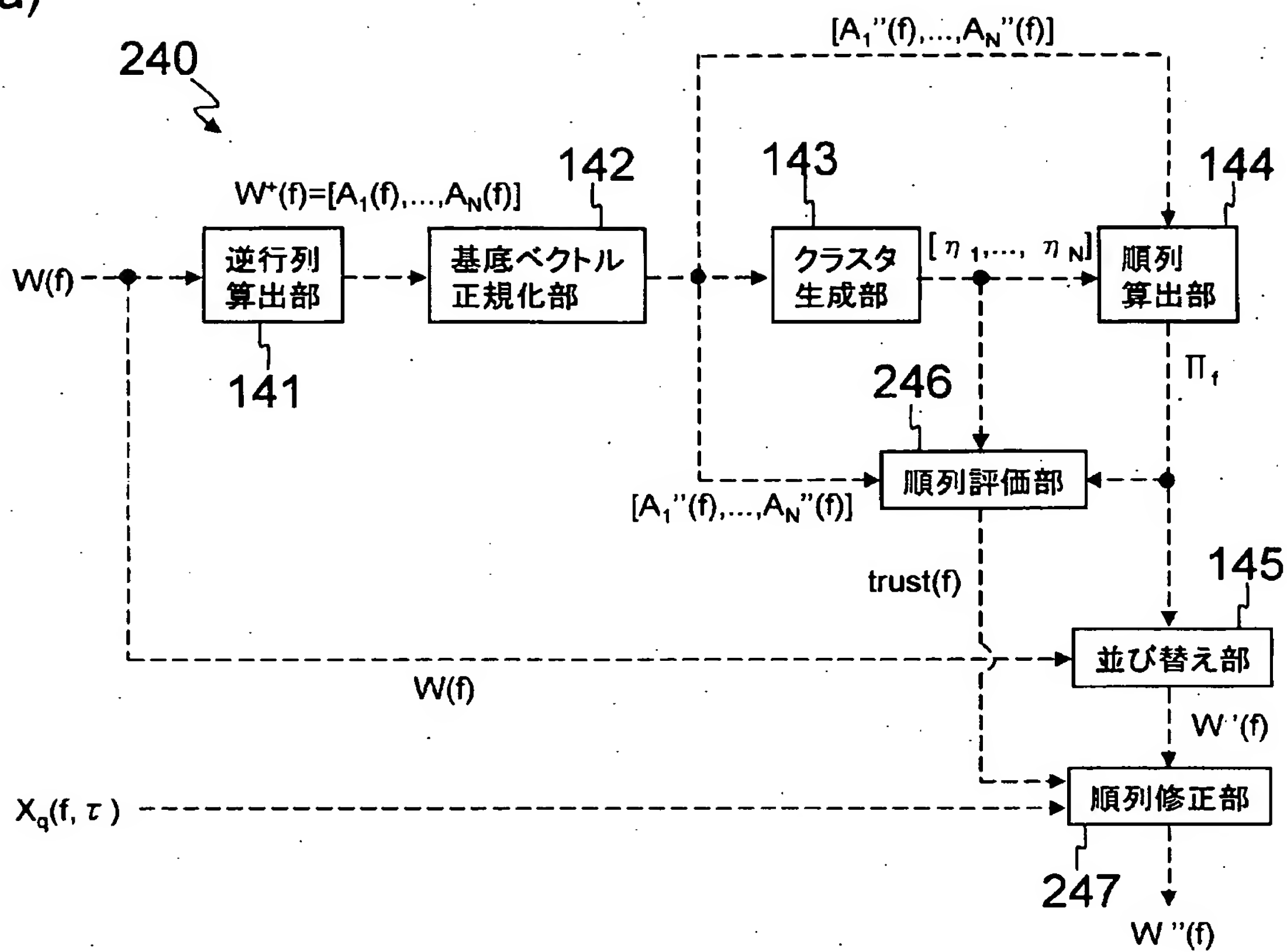


図8

【図 9】

(a)



(b)

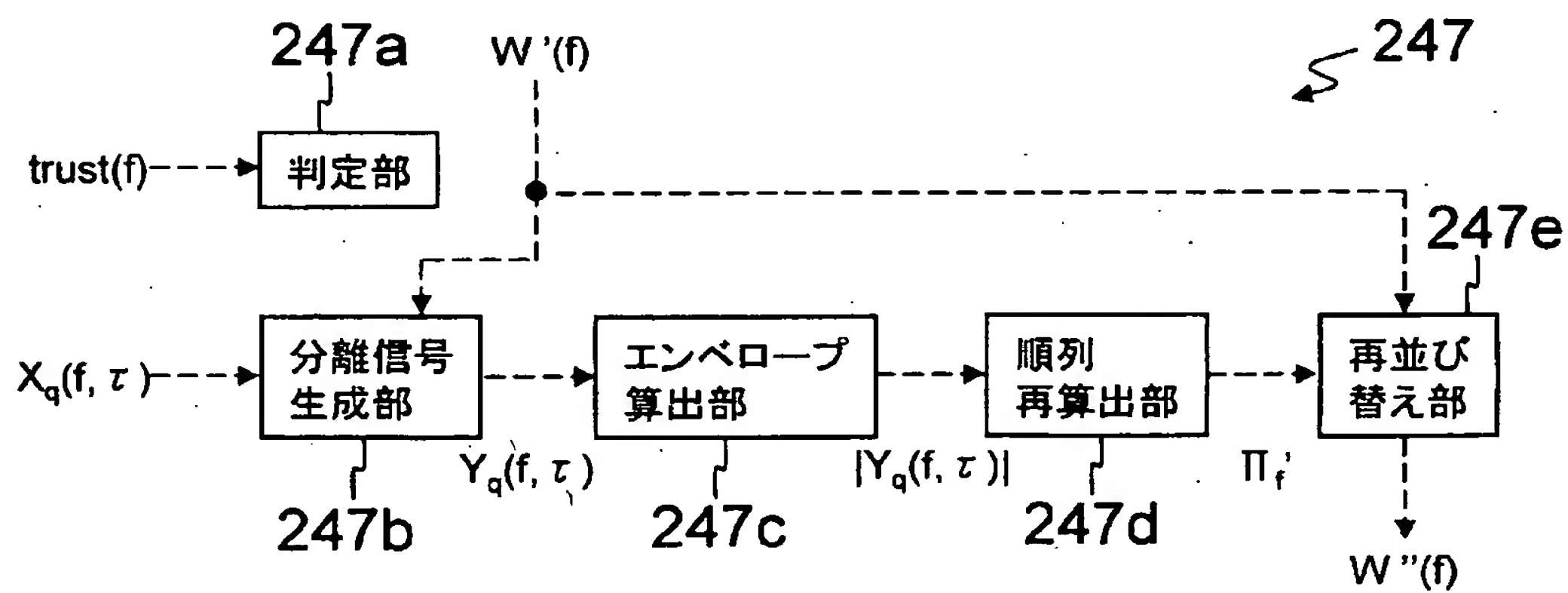


図9

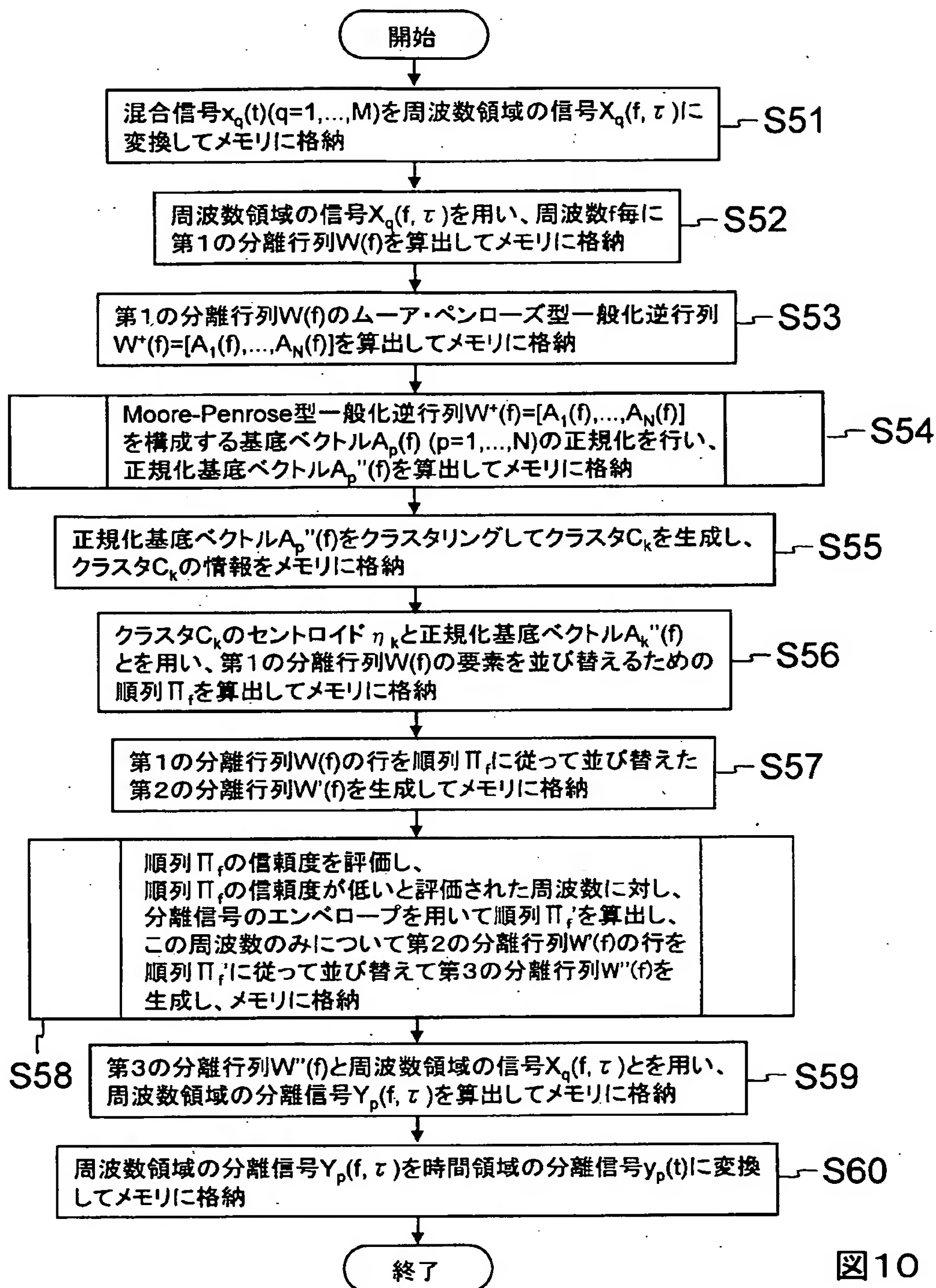


図10

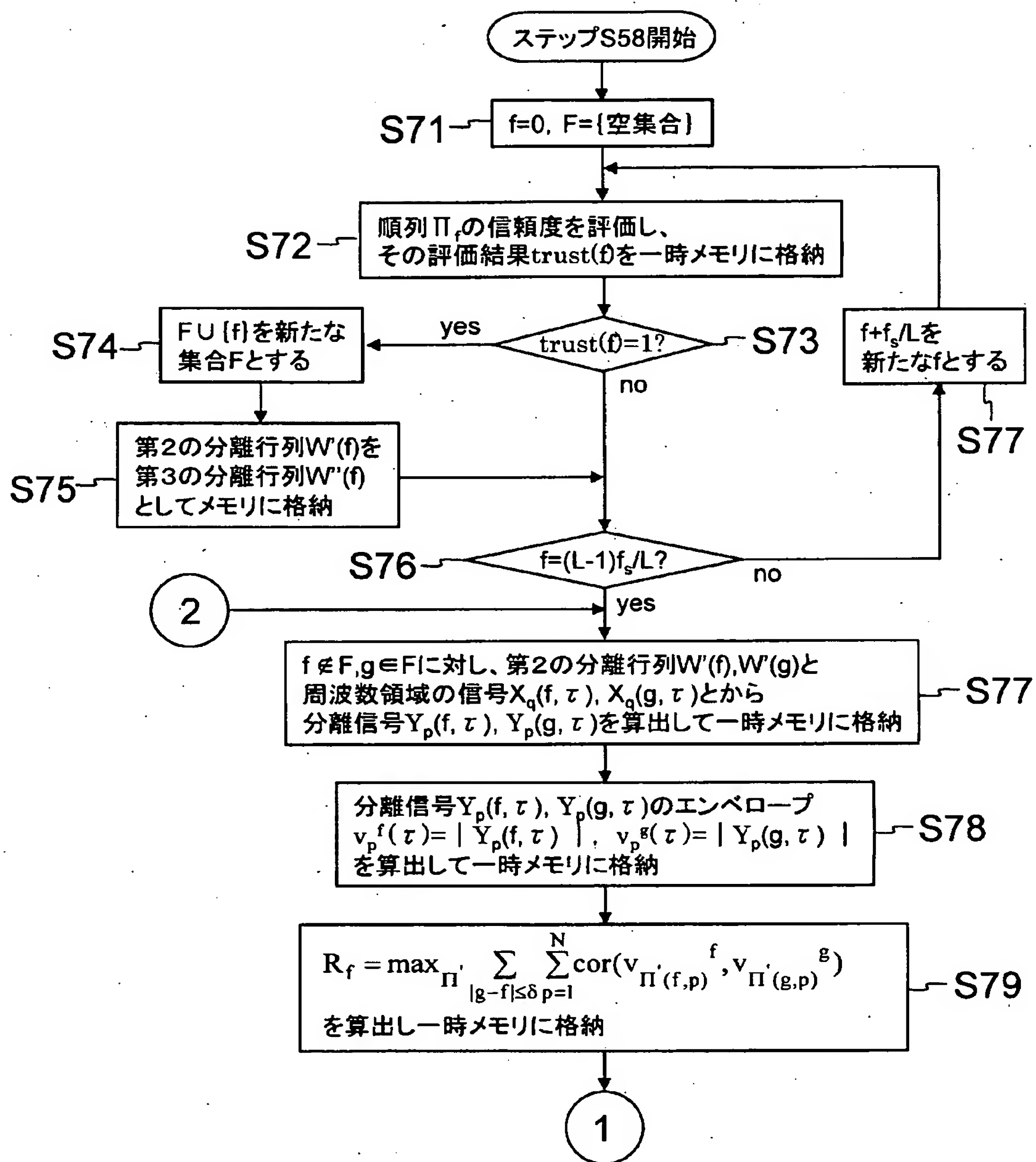


図11

【図 1 2】

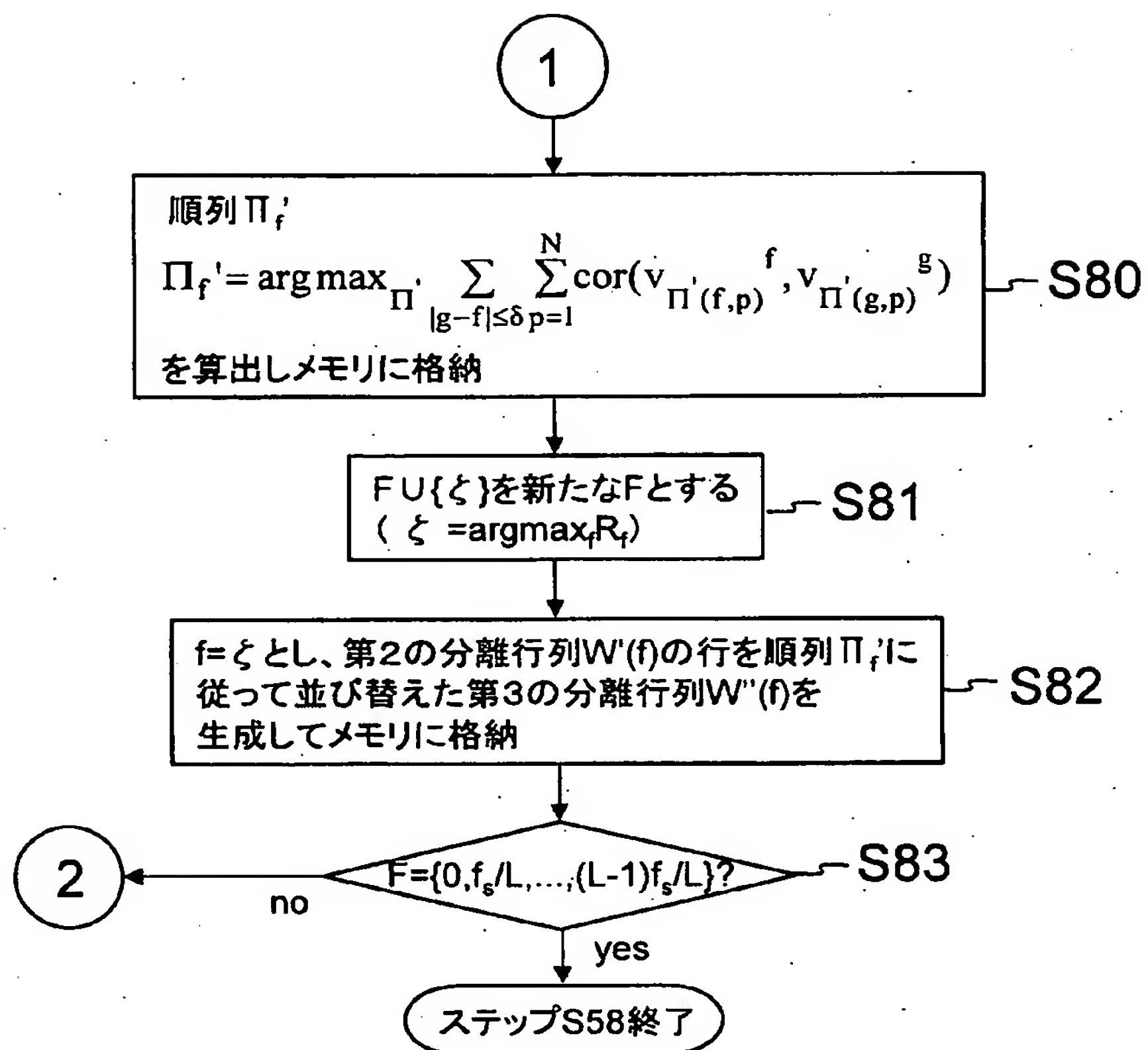
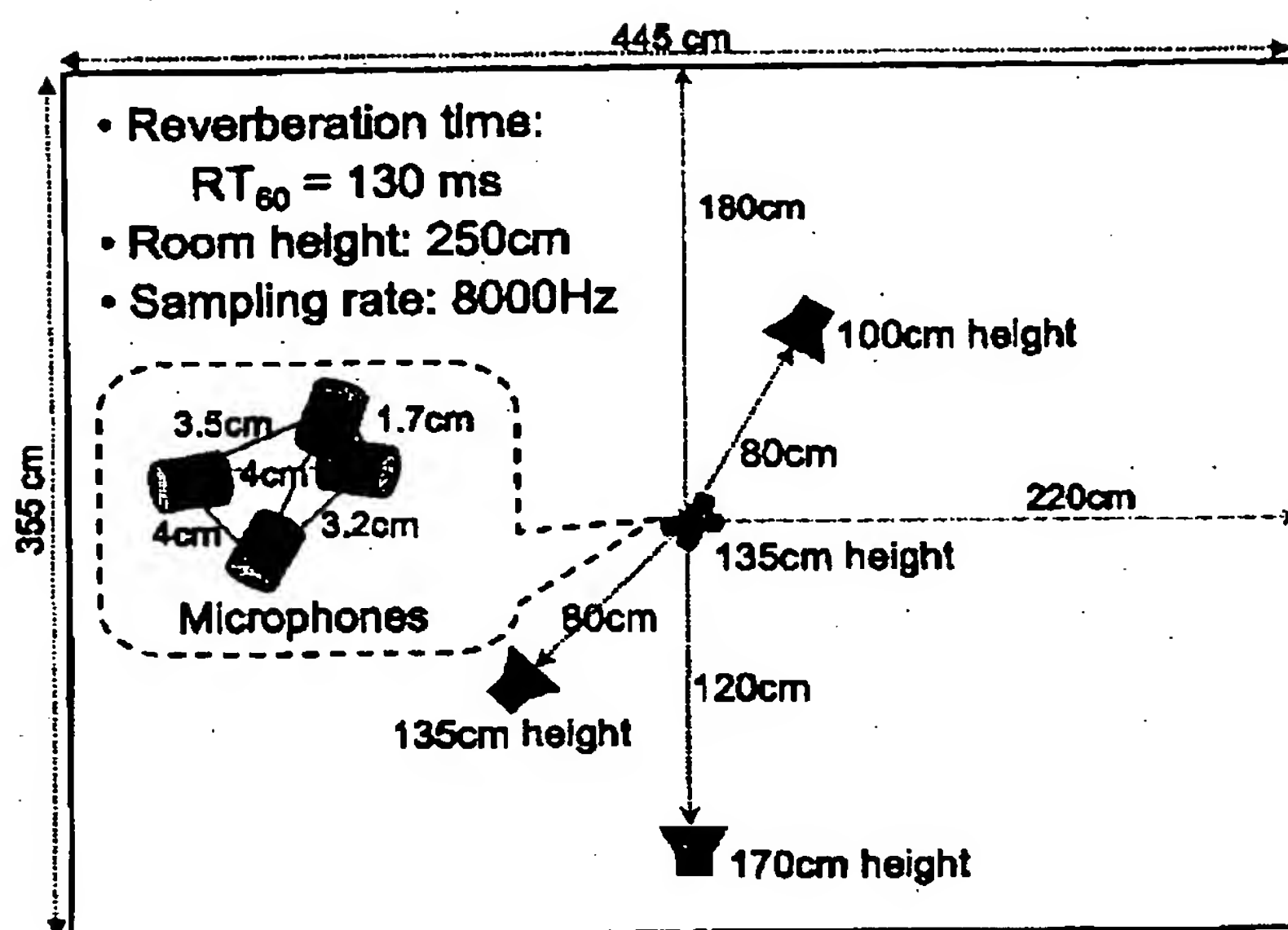


図12

【図 13】

(a)



(b)

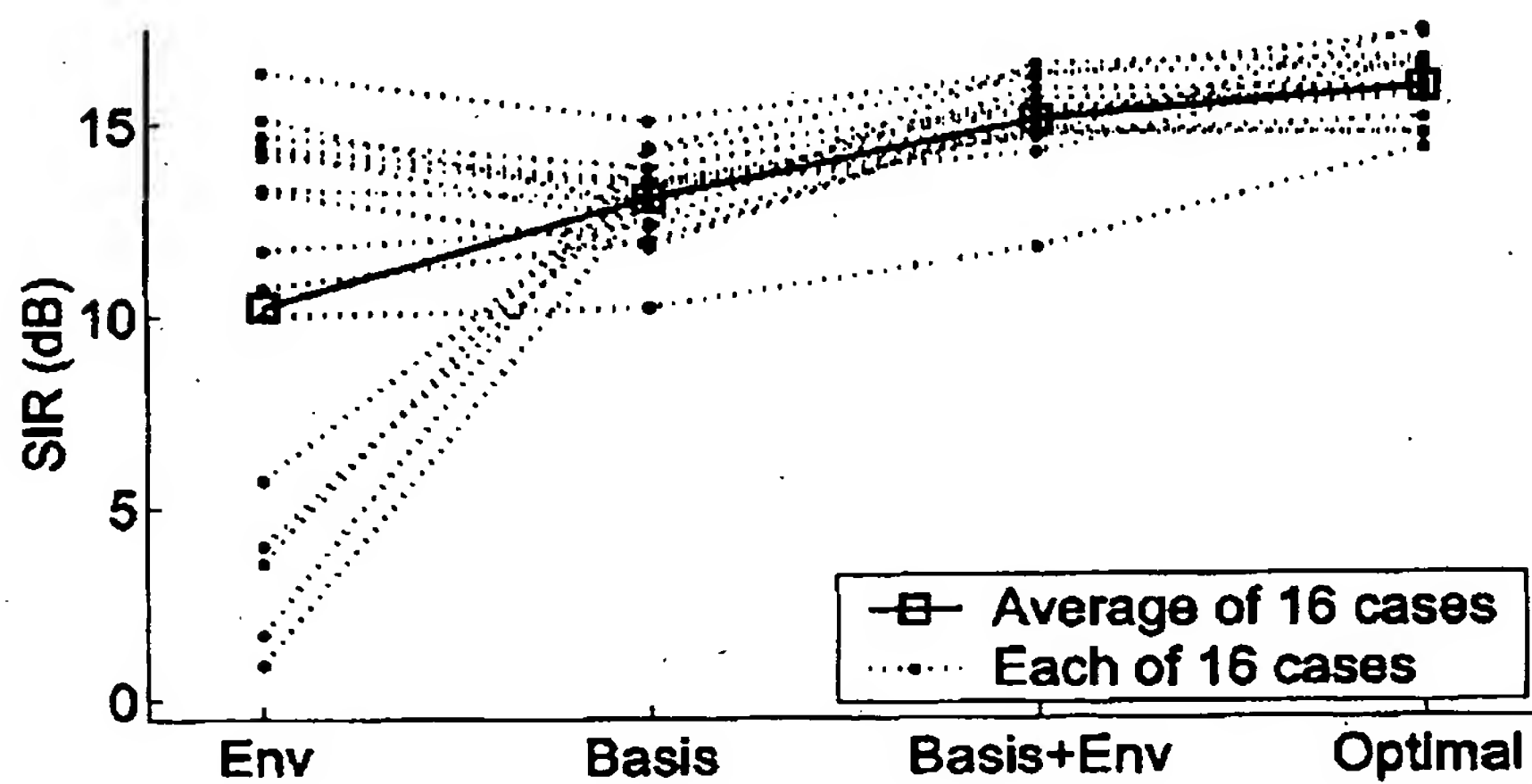
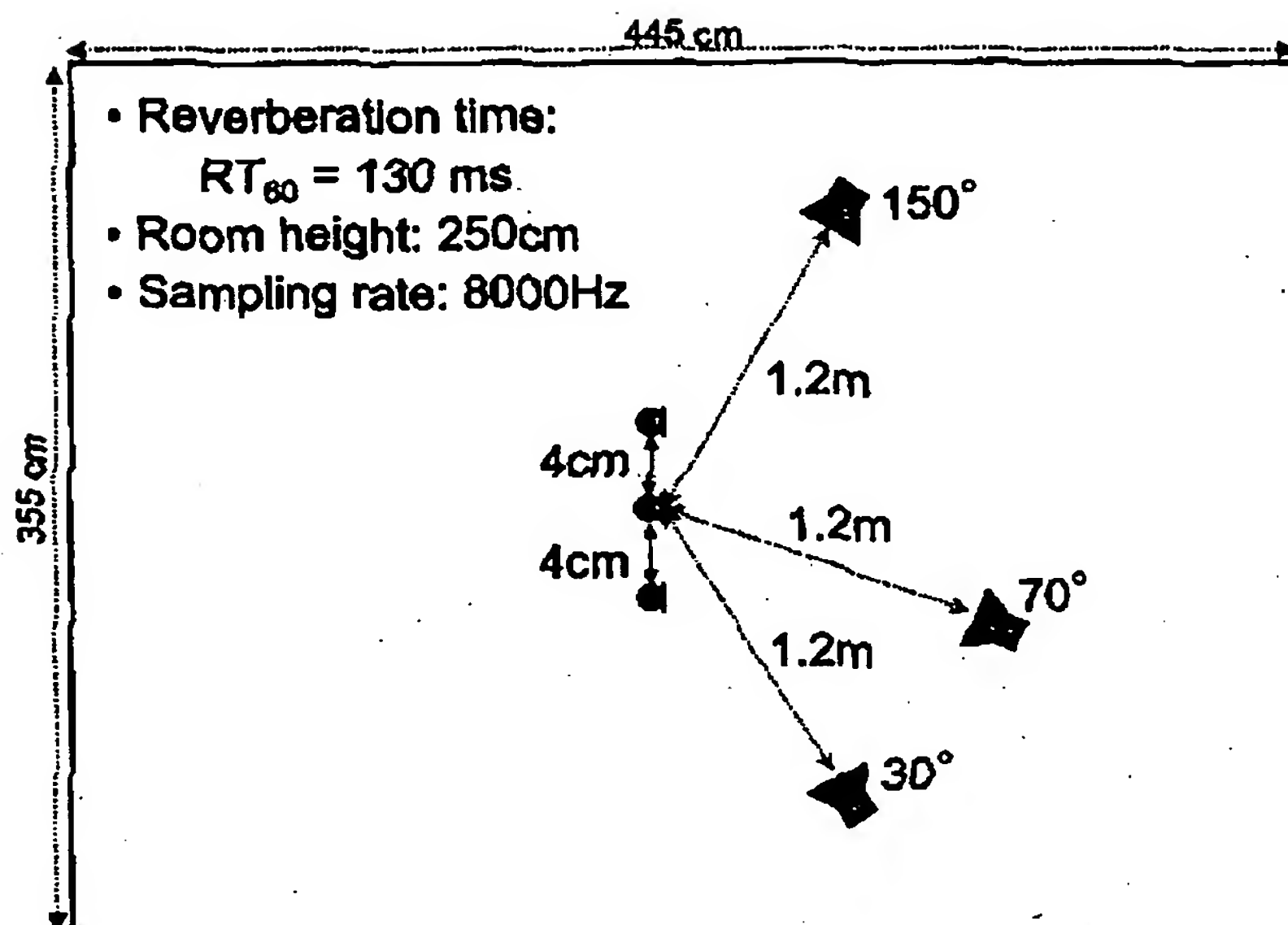


図 13

【图 14】

(a)



(b)

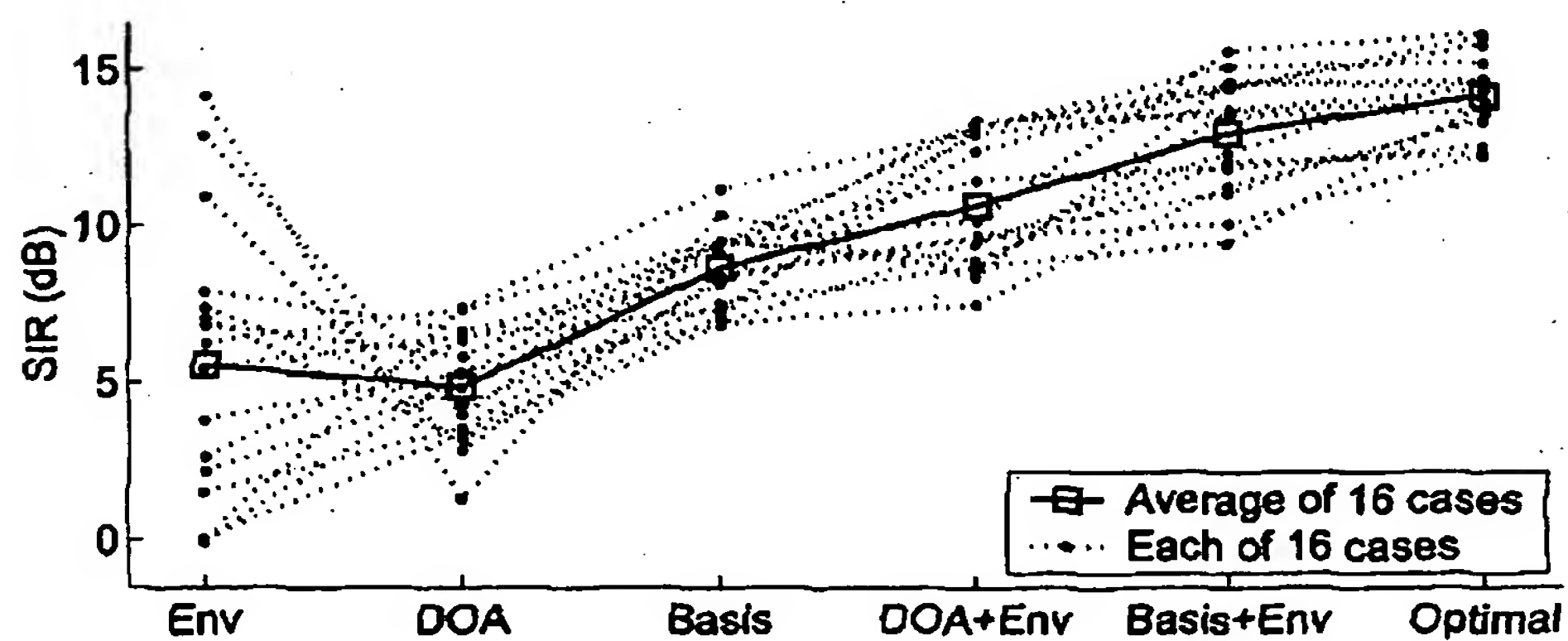


图14

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 センサ配置に係る情報の事前取得や煩雑な操作を必要とせずに正確にパーミュテーション問題を解決する。

【解決手段】 センサで観測された混合信号を周波数領域の信号に変換し、この周波数領域の信号を用いて周波数毎に第1の分離行列 $W(l)$ を算出する。次に、この第1の分離行列 $W(l)$ の一般化逆行列 $W^+(l)$ を算出し、この一般化逆行列 $W^+(l)$ を構成する基底ベクトル $[A_1(l), \dots, A_N(l)]$

の正規化を行って正規化基底ベクトル $[A_1^+(l), \dots, A_N^+(l)]$ を算出する。そして、この正規化基底ベクトル $[A_1^+(l), \dots, A_N^+(l)]$ をクラスタリングしてクラスタを生成し、クラスタの中心ベクトル $[c_1, \dots, c_N]$ と正規化基底ベクトル $[A_1^+(l), \dots, A_N^+(l)]$ とを用い、第1の分離行列 $W(l)$ の要素を並び替えるための順列 Π_l を算出する。

【選択図】 図3

出願人履歴

0 0 0 0 0 4 2 2 6

19990715

住所変更

5 9 1 0 2 9 2 8 6

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

日本電信電話株式会社